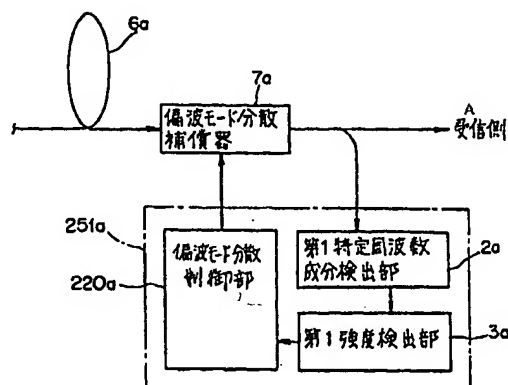




(51) 国際特許分類6 G01M 11/02	A1	(11) 国際公開番号 WO99/28723  (43) 国際公開日 1999年6月10日(10.06.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05336 (22) 国際出願日 1998年11月27日(27.11.98) (30) 優先権データ 特願平9/328612 1997年11月28日(28.11.97) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 富士通株式会社(FUJITSU LIMITED)[JP/JP] 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中四丁目1番1号 Kanagawa, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 大井寛己(OOI, Hiroki)[JP/JP] 石川丈二(ISHIKAWA, George)[JP/JP] 秋山祐一(AKIYAMA, Yuichi)[JP/JP] 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中四丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa, (JP) (74) 代理人 弁理士 真田 有(SANADA, Tamotsu) 〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町一丁目10番31号 吉祥寺広瀬ビル8階 Tokyo, (JP)		(81) 指定国 CN, JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). 添付公開書類 国際調査報告書
(54) Title: POLARIZATION MODE DISPERSION MEASURING METHOD, AND A DISPERSION COMPENSATION CONTROL DEVICE AND A DISPERSION COMPENSATION CONTROL METHOD (54) 発明の名称 偏波モード分散量検出方法及び分散補償制御装置及び分散補償制御方法 (57) Abstract A dispersion compensation control device used in an ultrahigh-speed optical communication system using optical time division multiplexing comprises a first specific frequency component detector (2a) for detecting a first specific frequency component in a baseband spectrum of a transmitted light signal inputted into the receiving side via a transmission fiber serving as a transmission line (6a), a first intensity detector (3a) for acquiring information on the intensity of the detected first specific frequency component detected, and a polarization mode dispersion controller (220a) for controlling the polarization mode dispersion of the transmission line (6a) so that the acquired intensity of the first specific frequency component may be maximum. Thus, the polarization mode dispersion that has occurred in a high-speed light signal can readily be detected and compensated for.		



7a ... POLARIZATION MODE DISPERSION COMPENSATOR

A ... RECEIVING SIDE

220a ... POLARIZATION MODE DISPERSION CONTROLLER

2a ... FIRST SPECIFIC FREQUENCY COMPONENT  
DETECTOR

3a ... FIRST INTENSITY DETECTOR

(57)要約

光時分割多重方式を採用する超高速光通信システムにて用いられる分散補償制御装置において、伝送路（6 a）としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出部（2 a）と、第1特定周波数成分検出部（2 a）にて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出部（3 a）と、第1強度検出部（3 a）で検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路（6 a）の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御部（220 a）とをそなえるように構成して、高速光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出して補償できるようにする。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SG シンガポール
AL アルバニア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SI スロヴェニア
AM アルメニア	FR フランス	LR リベリア	SK スロヴァキア
AT オーストリア	GA ガボン	LS レソト	SL シエラ・レオネ
AU オーストラリア	GB 英国	LT リトアニア	SN セネガル
AZ アゼルバイジャン	GD グレナダ	LV ルクセンブルグ	SZ スワジランド
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE グルジア	LV ラトヴィア	TD チャード
BB バルバドス	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BE ベルギー	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BG ブルガリア	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BH バ레인	GW ギニア・ビサオ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BR ブラジル	GR ギリシャ	共和国	TT トリニダッド・トバゴ
BY ベラルーシ	HR クロアチア	マリ	UA ウクライナ
CA カナダ	HU ハンガリー	ML モンゴル	UG ウガンダ
CF 中央アフリカ	ID インドネシア	MN モンゴリア	US 米国
CG コンゴ	IE アイルランド	MR モーリタニア	UZ ウズベキスタン
CH スイス	IL イスラエル	MW マラウイ	VN ヴェトナム
CI コートジボアール	IN インド	MX メキシコ	YU ユーゴスラビア
CM カメルーン	IS アイスランド	NE ニジェール	ZA 南アフリカ共和国
CN 中国	IT イタリア	NL オランダ	ZW ジンバブエ
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	
EE エストニア	KZ カザフスタン	RU ロシア	
	LC セントルシア	SD スーダン	
		SE スウェーデン	

## 明 細 書

偏波モード分散量検出方法並びに  
分散補償制御装置及び分散補償制御方法

5

## 技術分野

本発明は、例えば光時分割多重方式を採用する超高速光通信システムにおいて、高速光信号の伝送距離の制限要因となる伝送光信号の偏波モード分散や波長分散を補償する際に用いて好適な、偏波モード分散量検出方法並びに分散補償制御装置及び分散補償制御方法に関する。

10

## 背景技術

現在、基幹系の光通信システムにおいては、伝送速度  $10\text{ Gb/s}$ （ギガビット／秒）のシステムが実用化段階にある一方で、急激な情報量の増加にともない、光通信システムの更なる大容量化が望まれている。そのために採用する方式として候補に考えられているものは、時分割多重方式（光時分割多重方式を含む）及び波長多重方式であり、特に、時分割多重方式においては、伝送速度  $40\text{ Gb/s}$  の超高速光通信システム（以下、 $40\text{ Gb/s}$  光通信システムという）の研究も国内外で活発に行なわれている。

15

20

しかしながら、この  $40\text{ Gb/s}$  光通信システムにおいては、偏波モード分散及び波長分散の影響により光信号の伝送波形が劣化するため、光信号の伝送距離が制限されるという課題がある。すなわち、このシステム伝送路においては、波長分散値と偏波モード分散値とが、伝送速度および伝送距離の制限要因となっている。以下、図 66～図 72 を用いて波長分散のシミュレーション結果と実験結果とについて説明し、図 7

25

3～図75を用いて偏波モード分散の説明を行なう。

また、『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、以下特に断りの無い限り、単に『分散』という単語を用いた場合は、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方を含む意味で使用する事とする。

最初に波長分散について概略を説明する。波長分散トレランス（トレランスとは、許容量を意味する）は、ビットレートの二乗に反比例するために、 $10\text{ Gb/s}$ では約 $800\text{ ps/nm}$ なのに対し、 $40\text{ Gb/s}$ では $1/16$ の約 $50\text{ ps/nm}$ と厳しくなる。

図66に、 $40\text{ Gb/s}$ 光時分割多重（OTDM:Optical Time Division Multiplexing）方式における、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 零分散ファイバ（SMF:Single Mode Fiber） $50\text{ km}$ 伝送後の分散補償トレランスの評価実験系の構成を示す。ここで、波長分散値 $=18.6\text{ ps/nm/km}$ 、総分散値 $=930\text{ ps/nm}$ の各値が使用されている。この図66に示す $40\text{ Gb/s}$ 光送信機121aは、信号光源であり、強度変調器121bにて強度変調されて信号光は、SMF123を経てDCF(Dispersion Compensating Fibers)124を介して受信側（以下、受信端と称することもある）に入力される。そして、この受信側においては、プリアンプ122aと、 $40\text{ Gb/s}$ 光受信機122bによって、復調処理が行なわれる。

図67は、この実験系での評価実験の結果であり、横軸は総分散量（単位： $\text{ps/nm}$ ）を表し、縦軸はパワーペナルティ（単位： $\text{dB}$ ）を表している。ここで、伝送路の評価基準として、パワーペナルティ $1\text{ dB}$ 以下が要求されているとすると、分散補償トレランス（分散幅）は $30\text{ ps/nm}$ となり、この値はSMFを使った伝送での $2\text{ km}$ 以下に相当する。つまり、陸上システムのように各中継間隔、すなわち局舎間



隔が一定でない場合は、中継区間ごとに分散補償量を最適化（ほぼ 1・0  
0 % の高精度分散補償）する必要がある。

また加えて、光ファイバ伝送路の波長分散値は、温度や圧力等の敷設  
環境の変化に伴い、経時的に変化する。例えば、- 5 0 ~ 1 0 0 °C の温  
5 度変化がある場合の S M F 5 0 k m の分散変化量を見積もると、次式の  
ように 1 6 p s / n m となる。

$$\begin{aligned}
 \text{〔分散変化量〕} &= \text{〔零分散波長の温度依存性〕} \times \text{〔温度変化〕} \\
 &\quad \times \text{〔分散スロープ〕} \times \text{〔伝送距離〕} \\
 &= 0.03 \text{ (nm/}^\circ\text{C)} \times 150 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 10 \quad &\quad \times 0.07 \text{ (ps/nm}^2 \text{ /km)} \times 50 \text{ (km)} \\
 &= 16 \text{ ps/nm}
 \end{aligned}$$

この値は、分散トレランス 3 0 p s / n m の半分以上となり、システ  
ム設計上、十分に考慮しなければならない値である。なぜなら、最悪の  
場合、システム運用開始時に - 5 0 °C で分散補償量を最適化しても、シ  
15 ステム運用中に 1 0 0 °C になったとすると、ペナルティ 1 d B の基準を  
満たさなくなるからである。また、分散補償器の特性や構成によっては、  
分散補償量を連続的に設定できずに、システム運用開始時に最適値から  
多少ずれた値にしか設定できない場合も有り得る。この場合は、1 5 0  
°C 以下の温度変化でもペナルティ 1 d B の基準を満たさなくなる可能性  
20 もある。

以上の考察により、4 0 G b / s 以上の超高速光伝送システムを実現  
するには、第 1 に、システム運用開始時に中継区間ごとに分散等化（分  
散補償量）を最適化するとともに、第 2 に、システム運用中にも伝送路  
分散値の経時変化に対応して分散等化（分散補償値）の最適化を行なう  
25 「自動分散等化（補償）システム」の構築が必要であることがわかる。  
なお、この自動分散等化システムは S M F 伝送システムだけではなく、

波長分散値が小さい1.55  $\mu\text{m}$ 帯分散シフトファイバ(DSF:Dispersion Shifted Fiber)を用いた場合でも必要である。また、自動分散等化システムを実現するための要素技術は、次の(a)から(c)の3点にまとめられる。

5 (a) 可変分散等化(補償)器の実現

(b) 伝送路の波長分散値(または分散等化〔補償〕後の総分散量)のモニタ方法

(c) 可変分散等化(補償)器のフィードバック最適化制御方法

従来より光ファイバの波長分散値の測定法として、複数の異なる波長の光を光ファイバに入力し、出力光間の群遅延差や位相差を測定するパルス法や位相法が用いられている。しかし、これらの方法を用いて、システム運用中に常時分散測定を行なうためには、各中継区間ごとに一組の波長分散測定器が必要となる。さらに、データ信号光の伝送を中断しないで分散量測定を行なうためには、データ信号光とは異なる波長の測定光を波長多重する必要がある。

このように、パルス法や位相法を光伝送装置の中に組み込むことは、サイズおよび経済性の面から現実的とはいえず、さらに主信号光波長と異なる波長を用いる場合、測定光波長での測定値から信号光波長での分散値を推測するというプロセスを介するため、厳密性に欠けるおそれがある。そのため、主信号光から直接、波長分散値をモニタできる方法が望ましい。

この波長分散モニタ法として、40 Gb/s OTDM信号およびNRZ (Non-Return-to-Zero) 信号のベースバンドスペクトル中の40 GHz成分強度を用いる方法が、既に学会等で提案されている。

25 図68に40 Gb/s OTDM信号の分散量に対する40 GHz成分強度とアイ開口度との関係(シミュレーション結果)を示す。この図6

8に示す2つの波形のうち、2つの山を有する方が、40 GHz成分強度を表し、また、山が1つだけの方は、アイ開口度を表し、40 GHz成分強度の2つのピーク間の極小点が分散量ゼロとなり、そのときアイ開口度が最大になっていることがわかる。

5 図69にDSF100 km伝送時の実験系の構成を示す。この図69に示す送信側（以下、送信端と称することもある）131から信号光が送出され、恒温槽133において、伝送路であるファイバの温度が変化できるようになっている。そして、受信側132において、40 GHz成分強度が計測されるようになっている。

10 また、図70にこの実験系での実験結果を示す。ここで、横軸は信号光波長を表し、縦軸は、40 GHz成分強度のモニタ電圧を表す。この横軸である信号光波長は、1535～1565 nm[ナノメートル:(ナノは10の-9乗を表す)]の範囲で掃引されており、また、モニタ電圧は、3種類の温度における結果をそれぞれ表している。これらの3種類の波形のいずれもが、図68に示したシミュレーション結果と同様に、  
15 この波形の2つのピーク間の極少点が零分散波長を示している。また、ここではDSF100 kmの温度変化(-35～+65℃)に追従して、零分散波長も変化している(0.027 nm/℃)ことがわかる。

図71(a)に、40 Gb/s NRZ信号( $\alpha = -0.7$ )の分散量  
20 に対する40 GHz成分強度とアイ開口度の関係(シミュレーション結果)を示す。この図71(a)でも同様に、複数の山を有する方が、40 GHz成分強度を表し、山が1つだけの方が、アイ開口度を表している。 $\alpha < 0$ の場合、40 Gb/s成分強度は、+30 ps/nm付近に最大ピークがあり、その負分散側の裾野の零分散においてモニタ値は最小値の零を示す。  
25

図71(b)に温度-35～+65℃で変化させたときのDSF10

0 km 伝送時の実験結果を示す。シミュレーション結果〔図 7 1 (a) 参照〕と同様に、最大ピークの長波長側裾野の極小値〔図 7 1 (a) の 1 3 4 と付した位置参照〕が零分散波長を示し、零分散波長は、0. 0 2 6 nm/°C で変化しており、図 7 0 の結果と一致している。また、図 5 7 2 (a) に 4 0 G b / s NRZ 信号 ( $\alpha = +0. 7$ ) のときのシミュレーション結果を示す。また、図 7 2 (b) に 4 0 G b / s RZ (Return-to-Zero) 信号 ( $\alpha = 0$ , Duty = 5 0 %) のときのシミュレーション結果を示す。このような自動分散補償システムでは、上記の波長分散モニタを用いて、アイ開口度が最大になるように可変分散(等化)補償器の動作点をフィードバック制御する必要がある。

次に、4 0 G b / s システムにおける伝送距離に影響を与える第 2 の要因である偏波モード分散 (PMD: Polarization-Mode Dispersion) について概略を説明する。この偏波モード分散 (PMD) は、光信号における偏光成分 (例えば TE モード及び TM モードのような 2 つのモード光) の伝播遅延時間が異なることによって生じる分散であり、あらゆる光ファイバに対して起こり得るものである。一般的に、偏波モード分散の影響は、光信号の伝送速度が大きくなるほど、また、光信号の伝送距離が長くなるほど大きくなって、無視できなくなる。また、主に日本国以外に敷設された古い光伝送路を構成する光ファイバには、単位長さ当たり 1 p s / k m<sup>1/2</sup> [ピコ秒 / k m<sup>1/2</sup> (ピコは 1 0 の - 1 2 乗を表す)] を超える大きな PMD 値をもつと言われるものもあり、そのような光ファイバを用いて、短距離伝送 (例えば 5 0 k m 伝送) を行なったときには光遅延差 ( $\Delta \tau$ ) は、4 0 G b / s の 1 タイムスロット 2 5 p s に対して、7 p s 以上になり、やはり偏波モード分散の影響が無視できなくなる。なお、この値は光ファイバの種類によって決まる値であり、25 光信号の伝送速度には依存しない。さらに、実際には、光通信システム

には、光増幅器や波長分散補償器等のような偏波モード分散を生じる部材を設ける必要があるため、光信号の伝送距離が更に制限されるおそれもある。

5 従って、既に敷設された光伝送路を用いたまま光信号の伝送速度を大きくしたり、既に敷設された光伝送路を用いたまま多中継長距離伝送を行なうためには、伝送光信号に生じた偏波モード分散を補償する技術が求められている。

ここで、偏波モード分散を補償する方法は、例えば以下に示す文献に記載された補償方法がある。なお、実際の光伝送路を構成する光ファイバを使っても、光ファイバの長手方向の複屈折のゆらぎによるモード結合が複雑に起きる上、さらにそのモード結合が温度変動等により時間的に変化するため、伝送波形劣化を根本的に補償することは難しいが、伝送波形劣化を緩和するためには、次の①～③に示す文献に記載された方法は有効である。

15 ①光信号の送信端に偏波制御器（P C :Polarization Controller）を設け、伝送特性を受信端からフィードバックして、2つの偏波モードへの光強度の分岐比 $\gamma$ を0又は1となるように制御する方法（J.H. Winters et al., "Optical equalization of polarization dispersion", SPIE Vol. 1787 Multigigabit Fiber Communications, 1992, pp. 346-357）。

20 ②光信号の受信端に偏波制御器と偏波保持ファイバ(PMF:Polarization Maintaining Fiber)とを設け、偏波制御器を制御することにより、光伝送路とは逆符号の2つの偏波モード間の遅延差（固定値）を与える方法（T.Takahashi et al., "Automatic compensation technique for time-varying fluctuating polarization mode dispersion in in-line amplifier systems", Electro. Lett., vol. 30, no. 4, 1994, pp. 348-349）。

25 ③光信号の受信端に、偏波制御器と、偏波ビームスプリッタ（P B S :P

olarization Beam Splitter)と、この偏波ビームスプリッタにより2つに分岐された光信号成分をそれぞれ受光する受光器と、これら受光器により得られた2つの電気信号間に遅延差を与える可変遅延素子を設けて、偏波制御器及び可変遅延素子を制御する方法 (T. Ono et al., "Polarization Control Method for Suppressing Polarization Mode Dispersion Influence in Optical Transmission Systems", J. of Lightwave Technol., vol. 12, no. 5, 1994, pp. 891-898)。

これら①～③のいずれの方法においても、光信号の受信端にて偏波モード分散の状態を検出してフィードバック制御する必要があるが、符号誤り率等の検出結果を用いるような複雑な方法ではなく、偏波モード分散の状態を簡便に検出する技術が求められている。さらに、今後は、光通信システムに対して、ビットレート、伝送距離、信号変調フォーマット等を自由に切り換えられるようにすることが要求されるため、偏波モード分散を補償する技術においても、伝送路に生じる偏波モード分散の状態の変動に対応できるようにすることが求められている。

図73に40Gb/s信号に対するPMDによる伝送波形劣化を調査するための実験系を示す。この図73に示す送信側133から送出された信号光は、偏波制御器134にて各偏波成分の光強度分岐比(あるいは光パワー比) $\gamma$ が変えられて、PMDエミュレータ(PMD emulator)135により、伝送路で生じるPMDを加えられて、そして、受信端136において復調される。ここで、PMDエミュレータ135は、伝送路で生じるPMDを模擬するためのものであり、市販のPMDエミュレータが用いられている。この動作原理は次のようになる。すなわち、信号光は、この図73に示す偏光ビームスプリッタ(PBS)135aによって、2つの偏波成分に分離され、一方の成分は光遅延器135bにて光遅延差 $\Delta\tau$ (ps)が与えられ、他方の成分は光アッテネータ135

cにて、両光路の光損失が等しくなるように損失を受ける。さらにそれらは偏光ビームスプリッタ（PBS）135dにおいて、直交状態のまま合波される。そして、この出力信号は、受信端136内の光プリアンプ136aにて増幅されてから、光DEMUX（Demultiplex）136bにて復調される。

図74に40Gb/s OTDM信号及びNRZ信号に対する光遅延差 $\Delta\tau$ に対するパワーペナルティ評価実験の結果を示す。横軸は光遅延差 $\Delta\tau$ で、縦軸はパワーペナルティである。なお、伝送波形劣化が最大となるように、偏波制御器134（図73参照）において、 $\gamma=0.5$ に設定されている。この図74の（a）と付された曲線は、OTDM信号での伝送波形劣化を表し、この図74に示す受信感度劣化（パワーペナルティ〔縦軸〕）の基準値を1dB以下とした場合、PMD許容値（PMD耐力）は9psとなる。また、図74の（b）と付された曲線は、40Gb/s NRZ信号での伝送波形劣化を表す。このときの受信感度劣化の基準値を1dB以下とした場合、PMD許容値（PMD耐力）は、11psとなる。

この受信感度劣化の値を考察すると、既設の比較的古いファイバには、単位長さ当たり $1.0\text{ ps/km}^{1/2}$ を超える大きなPMD値をもつものもあり、その場合、100km以下の比較的短距離伝送でも10ps以上になる。さらに、実際の光伝送システムでは、伝送路ファイバ以外に光増幅器や波長分散補償器等でも偏波モード分散が発生するため、伝送距離がより制限される。既設ファイバ伝送路において伝送速度を上げるため、または多中継長距離伝送を行なうためには「PMD補償技術」が必要となるが、この補償技術は次の（d）から（f）の3つの課題を有する。

（d）PMD補償デバイスの実現

(e) 伝送路のPMD状態（光遅延差 $\Delta\tau$ および光強度分岐比 $\gamma$ ）の検出方法

(f) PMD補償デバイスのフィードバック最適化制御方法

既に、PMD測定器は市販されているが、サイズおよび経済性の面から光伝送システムの一部として導入するのは現実的でなく、主信号光から直接、PMD値をモニタできる方法が望ましい。その方法として、受信信号のベースバンドスペクトル中の周波数成分強度を用いる方法があり、以下のように理論的に求められる。

$F(t)$ をPMDを与えない場合の光強度の時間変化とした場合、PMD（光遅延差 $\Delta\tau$ および光強度分岐比 $\gamma$ ）を与えた場合の光強度の時間変化は、次式で表される。

$$\gamma F(t-\Delta\tau) + (1-\gamma)F(t)$$

受光後の電気信号の電界強度はその値に比例し、強度検出器においては、その2乗の値が強度の時間変化として検出される。ベースバンドスペクトル $P(f)$ は、そのフーリエ変換として式(11)のように与えられる。

$$\begin{aligned} P(f) &= \left| \int \{ \gamma F(t-\Delta\tau) + (1-\gamma)F(t) \} \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2 \\ &= \left| \gamma \int F(t-\Delta\tau) \exp(i\omega t) dt + (1-\gamma) \int F(t) \exp(i\omega t) dt \right|^2 \\ &= \left| \gamma \exp(i\omega \Delta\tau) \int F(t) \exp(i\omega t) dt \right. \\ &\quad \left. + (1-\gamma) \int F(t) \exp(i\omega t) dt \right|^2 \\ &= K(f) \cdot \left| \int F(t) \exp(i\omega t) dt \right|^2 \quad \dots (11) \end{aligned}$$

ここで比例係数 $K(f)$ は以下のように表される。また、 $\omega = 2\pi f$ である。

$$\begin{aligned} K(f) &= \left| \gamma \exp(i\omega \Delta\tau) + (1-\gamma) \right|^2 \\ &= \left| \gamma \{ \cos(\omega \Delta\tau) + i \sin(\omega \Delta\tau) \} + (1-\gamma) \right|^2 \\ &= 1 - 4\gamma(1-\gamma)\sin^2(\pi f \Delta\tau) \quad \dots (12) \end{aligned}$$



(11) 式において、PMD状態に関するパラメータ(光遅延差 $\Delta\tau$ および光強度分岐比 $\gamma$ )は $K(f)$ のみに含まれ、PMDが無い場合のベースバンドスペクトル $|\int F(t)\exp(i\omega t)dt|^2$ と分離される。よって、周波数成分 $f = f_e$  (Hz)をフィルタ等で抽出して強度検出する場合、光遅延差 $\Delta\tau$ および光強度分岐比 $\gamma$ に対する依存性は $K(f_e)$ で表されることになる。しかも、光波形を表す一般式 $F(t)$ に対して(11)式が成り立つことから、 $K(f_e)$ でPMD状態を検出できるという上記の結果は、変調方式(NRZまたはRZ)や波長分散・非線形効果等の波形変化にかかわらず成り立つ。

図75に40Gb/s NRZ方式における、 $\gamma = 0.5$ の場合の20GHz成分強度の $\Delta\tau$ 依存性を表す実験結果を示す。この強度検出方法は、受信端で受光器(PD)を用いて光信号を電気信号に変換し、20GHzの狭帯域バンドパスフィルタ(BPF)で20GHz成分の信号を抽出し、パワーメータで強度検出する方法である。この図75に示すように、光遅延差 $\Delta\tau = 0$  psで極大をとり、光遅延差 $\Delta\tau$ が増大するにつれて減少し、光遅延差 $\Delta\tau = 25$  psで零となる。

以上のようにPMD状態が最良になる場合は $f_e$  (Hz)成分強度が最大になることを利用して、伝送路中(送信端、光中継器中、受信端)に挿入した光遅延差 $\Delta\tau$ および光強度分岐比 $\gamma$ を制御する偏波モード分散補償器をこのPMDモニタ信号に従ってフィードバック制御する方法が可能である。

なお、等化に関する公知文献は、次の④～⑥のようなものがある。

④可変分散(等化)補償器の公知文献

- R.I.Laming et al., "A Dispersion Tunable Grating in a 10-Gb/s 100-220-km-Step Index Fiber Link", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 8, no. , pp. 428-430, 1996. (Chirped fiber gratingの長さ方向の温度

勾配を変化させることにより分散補償量を可変。)

• M.M.Ohm et al., "Tunable fiber grating dispersion using a piezoelectric stack", OFC' 97 WJ3. (Chirped fiber gratingの長さ方向の応力を変化させることにより分散補償量を可変。)

5 • K.Takiguchi et al., "Planar Lightwave Circuit Optical Dispersion Equalizer", IEEE Photon. Technol., Lett., vol. 6, no. 1, pp. 86-88 (PLC 可変分散補償器)

• A.Sano et al., "Automatic dispersion equalization by monitoring extracted-clockpower level In a 40-Gbit/s, 200-km transmission  
10 line" ECOC' 96 TuD. 3. 5 (正もしくは負の分散値を有するファイバを1×4 機械的光スイッチで縦列接続した離散可変分散補償器)

⑤自動分散等化システムの公知文献

• G.Ishikawa and H.Ooi, "Demonstration of automatic dispersion equalization in 40-Gbit/s OTDM transmission," ECOC' 98 WdC0  
15 6. (1998 年9 月23日発表)

• 大井、秋山、石川、「波長可変レーザを用いた40 Gbit/s自動分散等化実験」1998年電子情報通信学会ソサイエティ大会(1998 年9 月30日発表)

• M.Tomizawa et al., "Automatic Dispersion Equalization for Installing High-Speed Optical Transmission Systems", J. Lightwave Technol., vol. 16, no. 2, pp. 184-191.  
20

⑥自動PMD補償システムの公知文献

• H.Ooi, Y.Akiyama, G.Ishikawa, "Automatic polarization-mode dispersion compensation in 40-Gbit/s transmission"(仮題)、OFC' 99  
25 に投稿。(40 G b / s N R Z方式において、受信端に偏波制御器(PC: Polarization Conroller)と偏波保持ファイバ(PMF: Polarization Mai

ntaining Fiber) を用い、PCを制御することで、伝送路とは逆符号の遅延差を与える方法)

5     • J.H. Winters et al., "Optical equalization of polarization dispersion", SPIE Vol.1787 Multigigabit Fiber Communications, 1992 pp. 346-357. (送信端に偏波制御器を用い、伝送特性を受信端からフィードバックして  $\gamma = 0$  または 1 となる方向に制御する方法)

10    • T.Takahashi et al., "Automatic compensation technique for timewise fluctuating polarization mode dispersion in in-line amplifier systems", Electron. Lett., vol. 30, no. 4, 1994, pp. 348-349. (受信端に偏波制御器 (PC) と偏波保持ファイバ (PMF) を用い、PCを制御することで、伝送路とは逆符号の遅延差を与える方法)。10Gb/s NRZ 信号のベースバンドスペクトル中の 5GHz 成分強度を検出し、その強度が最大値になるように制御を行なっている。

15    • T.Ono et al., "Polarization Control Method for Suppressing Polarization Mode Dispersion Influence in Optical Transmission Systems", J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 5, 1994, pp. 891-898. (受信端で偏波制御器 (PC)、偏波ビームスプリッタ (PBS)、各光路に対する受光器、両電気信号間に遅延差を与える可変遅延素子を用い、PCおよび可変遅延素子を制御する方法)。

20    本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、高速光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出・モニタできるようにした、偏波モード分散量検出方法と、これらの検出された偏波モード分散及び波長分散を補償して高速光信号の長距離伝送を行なえるようにした、分散補償制御方法と、さらには、これらの偏波モード分散量検出方法及び波長分散  
25    検出方法を用いて、それぞれによる伝送光波形劣化を同時に補償する分散補償制御装置とを提供することを目的とする。

## 発明の開示

このため、本発明の分散補償制御装置は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出部と、  
5 この第1特定周波数成分検出部にて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出部と、この第1強度検出部で検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御部とをそなえて構成  
10 されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、偏波モード分散を補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために寄与することができる利点がある

さらに、本発明の分散補償制御装置は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出部と、この第1特定周波数成分検出部にて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出部と、この第1強度検出部で検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の  
15 偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御部とをそなえるとともに、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第2特定周波数成分を検出する第2特定周波数成分検出部と、この第2特定周波数成分検出部にて検出された上記第2特定周波数成分の強度についての情報を検出する第2強度検出部と、この第2強度検出部で検出された第2特定周  
20 波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路の波長分散量を制御する波長分散制御部とをそなえて構成されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、偏波モード分散を補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、また、伝送光信号の波長分散を補償することもできるので、偏波モード分散及び波長分散の影響による光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために更に寄与することができる利点がある。

また、本発明の分散補償制御装置は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出部と、この第1特定周波数成分検出部にて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出部と、第1強度検出部で検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御部と、この第1強度検出部で検出された第1特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路の波長分散量を制御する波長分散制御部とをそなえて構成されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、偏波モード分散を補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、また、伝送光信号の波長分散を補償することもできるので、偏波モード分散及び波長分散の影響による光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために更に寄与することができる利点がある。

そして、本発明の偏波モード分散量検出方法は、伝送ファイバを介して入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の特定周波数成分を検出する特定周波数成分検出ステップと、この特定周波数成分検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度について検出する強度検出ステップと、この強度検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度についての情報から、所定の関数演算を行なうことに

より上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出する分散量検出ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、伝送光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出することができる利点がある。

- 5        加えて、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、この第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、
- 10       この第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、伝送光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出することができるようになる。

- 15       また、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、この第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、この
- 20       第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえるとともに、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第2特定周波数成分を検出する第2特定周波数成分検出ステップと、この第2特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第2
- 25       特定周波数成分の強度についての情報を検出する第2強度検出ステップと、この第2強度検出ステップで検出された第2特定周波数成分の強度

が極大又は極小となるように、伝送路の波長分散量を制御する波長分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

従って、このようにすれば、それぞれの制御を独立かつ同時に行なうことができるようになる。

- 5       そしてまた、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、この第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、この第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップと、この第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路の波長分散量を制御する波長分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴とし
- 10       ている。

従って、このようにすれば、偏波モード分散及び波長分散の影響による光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために更に寄与することができる。

## 20       図面の簡単な説明

図1は本発明の第1の基本ブロックの構成を示す図である。

図2は本発明の第2の基本ブロックの構成を示す図である。

図3は本発明の第3の基本ブロックの構成を示す図である。

- 図4は本発明の第1実施形態にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図5は遅延量補償器の構成を示す図である。

図6は本発明の第1実施形態にかかる40Gb/s光時分割多重伝送システムの実験系の構成を示す図である。

図7はPMDエミュレータの構成を示す図である。

図8(a)～図8(e)はいずれも、PMDエミュレータにより光遅延差 $\Delta\tau$ を変化させて与えた場合の40Gb/s光時分割多重波形であって劣化したものを示す図である。

図9は伝送光信号に生じる偏波モード分散量の検出方法について説明するための図である。

図10(a)及び図10(b)はそれぞれ、伝送光信号に生じる偏波モード分散量の検出方法について説明するための図である。

図11は本発明の第1実施形態にかかる10Gb/sNRZ伝送システムの実験系の構成を示す図である。

図12(a)～図12(j)はいずれも、PMDエミュレータにより光遅延差 $\Delta\tau$ を変化させて与えた場合の受信端での劣化した10Gb/sNRZ波形を示す図である。

図13は伝送光信号に生じる偏波モード分散量の検出方法について説明するための図である。

図14(a)及び図14(b)はそれぞれ、伝送光信号に生じる偏波モード分散量の検出方法について説明するための図である。

図15は光時分割多重変調器の構成を示す図である。

図16(a)～図16(c)はいずれも、OTDM変調器の動作原理を説明するための図である。

図17は本発明の第1実施形態にかかるタイミング抽出部を設けた分散補償制御装置をそなえた光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図18は本発明の第1実施形態の第1変形例にかかる分散補償制御装



置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 1 9 は本発明の第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 2 0 は本発明の第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される他の光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 2 1 は本発明の第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる他の分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 2 2 は本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

10 図 2 3 は本発明の第 1 実施形態の第 4 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 2 4 は本発明の第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

15 図 2 5 ( a ) ～図 2 5 ( c ) はいずれも補償量最適化制御部によるフィードバック制御の原理を説明するための図である。

図 2 6 ( a ) ～図 2 6 ( g ) はいずれも、分散補償制御装置における動作を説明するための図である。

図 2 7 は本発明の第 1 実施形態の第 6 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

20 図 2 8 は本発明の第 1 実施形態の第 7 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 2 9 は本発明の第 1 実施形態の第 8 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

25 図 3 0 は本発明の第 1 実施形態の第 9 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 3 1 ( a ) 及び図 3 1 ( b ) はそれぞれ、偏波モード分散補償器で

光信号に与える偏波モード分散量を示すパラメータが広範囲で掃引制御された場合の特定周波数成分の強度の変化を示す図である。

図 3 2 は本発明の第 2 実施形態にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

5 図 3 3 は偏波制御器と可変偏波モード間遅延器との拡大図である。

図 3 4 (a) ~ 図 3 4 (c) はいずれも、本発明の第 2 実施形態にかかる可変光遅延路の例を示す図である。

図 3 5 は本発明の第 2 実施形態にかかる他の可変偏波モード間遅延素子の構成例を示す図である。

10 図 3 6 及び図 3 7 はそれぞれ、本発明の第 2 実施形態にかかる PMD 補償を実現するための制御フローチャートである。

図 3 8 は本発明の第 2 実施形態にかかる PMD 補償を実現するための他の制御フローチャートである。

15 図 3 9 は本発明の第 2 実施形態の第 2 変形例にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 4 0 は本発明の第 2 実施形態の第 3 変形例にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図である。

20 図 4 1 は本発明の第 2 実施形態の第 4 変形例にかかるシステム稼働時の PMD 補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 4 2 は PMD 耐力を測定する方法を説明する図である。

図 4 3 は本発明の第 2 実施形態の第 4 変形例にかかる PMD 補償用の PMF を用いた PMD 補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

25 図 4 4 (a) は  $\alpha$ 、 $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度を示す図である。

図 4 4 (b) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の受信波形のアイ開口度を示す図である。

図 4 5 (a) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度を示す図である。

5 図 4 5 (b) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の受信波形のアイ開口度を示す図である。

図 4 6 (a) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度を示す図である。

10 図 4 6 (b) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の受信波形のアイ開口度を示す図である。

図 4 7 (a) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度を示す図である。

図 4 7 (b) は  $\alpha$ ,  $\beta$  に対する受信ベースバンド信号中の受信波形のアイ開口度を示す図である。

15 図 4 8 (a) は 40 Gb/s NRZ 信号を用いて伝送を行なったときの伝送路 PMD 対 20 GHz 成分強度の計算結果を示す図である。

図 4 8 (b) は 40 Gb/s NRZ 信号を用いて伝送を行なったときの伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの計算結果を示す図である。

20 図 4 9 (a) は 40 Gb/s OTDM 信号を用いて伝送を行なったときの伝送路 PMD 対 20 GHz 成分強度の計算結果を示す図である。

図 4 9 (b) は 40 Gb/s OTDM 信号を用いて伝送を行なったときの伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの計算結果を示す図である。

図 5 0 (a) は遅延量  $\Delta \tau_c$  が最小の場合の伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの関係を示す図である。

25 図 5 0 (b) は遅延量  $\Delta \tau_c$  が最大の場合の伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの関係を示す図である。

図 5 1 (a) 及び図 5 1 (b) はそれぞれ、遅延量  $\Delta \tau$  が 1 タイムスロットを越える場合を説明する図である。

図 5 2 及び図 5 3 はそれぞれ、本発明の第 3 実施形態にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図である。

5 図 5 4 は本発明の第 3 実施形態にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 5 5 及び図 5 6 はそれぞれ、本発明の第 3 実施形態の第 1 変形例にかかる光伝送システムのブロック図である。

10 図 5 7 は本発明の第 3 実施形態の第 2 変形例にかかる光伝送システムのブロック図である。

図 5 8 は本発明の第 3 実施形態の第 2 変形例にかかるブロック図である。

図 5 9 は本発明の第 3 実施形態の第 3 変形例にかかる光伝送システムのブロック図である。

15 図 6 0 は本発明の第 3 実施形態の第 4 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

図 6 1 は本発明の第 3 実施形態の第 5 変形例にかかる光伝送システムの他のブロック図である。

20 図 6 2 は本発明の第 4 実施形態にかかる光伝送システムのブロック図である。

図 6 3 は本発明の第 4 実施形態の第 1 変形例にかかる光伝送システムのブロック図である。

図 6 4 は本発明の第 4 実施形態の第 2 変形例にかかる光伝送システムのブロック図である。

25 図 6 5 は他の遅延量補償器の構成を示す図である。

図 6 6 は 40 Gb/s 光時分割多重方式における、1.3  $\mu$ m SMF

5 0 k m 伝送後の分散補償トレランスの評価実験系の構成を示す図である。

図 6 7 は図 6 6 の実験系での評価実験の結果を示す図である。

5 図 6 8 は 4 0 G b / s O T D M 信号の分散量に対する 4 0 G H z 成分強度とアイ開口度との関係（シミュレーション結果）を示す図である。

図 6 9 は D S F 1 0 0 k m 伝送時の実験系の構成を示す図である。

図 7 0 は図 6 9 の実験系での実験結果を示す図である。

10 図 7 1 ( a ) は 4 0 G b / s N R Z 信号 (  $\alpha = -0.7$  ) の分散量に対する 4 0 G H z 成分強度とアイ開口度の関係（シミュレーション結果）を示す図である。

図 7 1 ( b ) は温度  $-35 \sim +65^{\circ}\text{C}$  で変化させたときの D S F 1 0 0 k m 伝送時の実験結果を示す図である。

図 7 2 ( a ) は 4 0 G b / s N R Z 信号 (  $\alpha = +0.7$  ) のときのシミュレーション結果を示す図である。

15 図 7 2 ( b ) は 4 0 G b / s R Z 信号 (  $\alpha = 0, \text{Duty} = 50\%$  ) のときのシミュレーション結果を示す図である。

図 7 3 は 4 0 G b / s 信号に対する P M D による伝送波形劣化を調査するための実験系を示す図である。

20 図 7 4 は 4 0 G b / s O T D M 信号及び N R Z 信号に対する光遅延差  $\Delta \tau$  に対するパワーペナルティ評価実験の結果を示す図である。

図 7 5 は 4 0 G b / s N R Z 方式における、  $\gamma = 0.5$  の場合の 2 0 G H z 成分強度の  $\Delta \tau$  依存性を表す実験結果を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

25 ( A ) 本発明の基本構成についての説明

( A 1 ) 第 1 の基本ブロックについての構成の説明

図 1 は本発明の分散補償制御装置の第 1 の基本ブロックの構成を示す図であり、この図 1 に示すように、伝送路 6 a 上に設けられた偏波モード分散補償器 7 a と、分散補償制御装置 2 5 1 a とをそなえて構成されている。

5       ここで、伝送路 6 a は、光ファイバ伝送路であり、偏波モード分散補償器 7 a は、分散補償制御装置 2 5 1 a からの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた偏波モード分散を補償するものである。

また、分散補償制御装置 2 5 1 a は、受信した光信号に基づいて、伝送路 6 a を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態をモニタする  
10       とともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器 2 5 1 a を制御するものであり、第 1 特定周波数成分検出部 2 a, 第 1 強度検出部 3 a, 偏波モード分散制御部 2 2 0 a をそなえて構成されている。

この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本構成では、この『分散』という単語を、  
15       『偏波モード分散』を表す意味で使用するものとする。従って、本構成にかかる分散補償制御装置 2 5 1 a は、『偏波モード補償制御装置』を意味するものとする。

ここで、第 1 特定周波数成分検出部 2 a は、伝送路 6 a としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンド  
20       スペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出するものであり、第 1 強度検出部 3 a は、この第 1 特定周波数成分検出部 2 a にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものである。また、偏波モード分散制御部 2 2 0 a は、第 1 特定周波数成分検出部 2 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路の偏波  
25       モード分散量を制御するものである。

ここで、上記伝送光信号が R Z 光信号又は光時分割多重信号である場

合には、第 1 特定周波数成分検出部 2 a が、第 1 特定周波数成分として、ビットレートに相当する周波数を検出するように構成されてもよく、上記伝送光信号があらゆる光変調方式において、第 1 特定周波数成分検出部 2 a が、第 1 特定周波数成分として、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するように構成されてもよい。

また、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出する第 1 特定周波数成分検出ステップと、第 1 特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出ステップと、第 1 強度検出ステップで検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路 6 a の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

#### (A 2) 第 2 の基本ブロックについての構成の説明

図 2 は本発明の分散補償制御装置の第 2 の基本ブロックの構成を示す図であり、この図 2 に示すように、伝送路 6 a 上に設けられた波長分散補償器 2 0 6 a、偏波モード分散補償器 7 a と、分散補償制御装置 2 5 1 b とをそなえて構成されている。ここで、伝送路 6 a は、光ファイバ伝送路であり、波長分散補償器 2 0 6 a は、分散補償制御装置 2 5 1 b からの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた波長分散量を補償するものであり、また、偏波モード分散補償器 7 a は、分散補償制御装置 2 5 1 b からの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた偏波モード分散を補償するものである。

さらに、分散補償制御装置 2 5 1 b は、受信した光信号に基づいて、伝送路 6 a を伝送する光信号に生じた波長分散及び偏波モード分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応じて波長分散補償器 2 0

6 a 及び偏波モード分散補償器 7 a を制御するものであって、第 1 特定周波数成分検出部 2 a, 第 1 強度検出部 3 a, 偏波モード分散制御部 2 2 0 a, 第 2 特定周波数成分検出部 2 2 2 a, 第 2 強度検出部 2 2 3 a, 波長分散制御部 2 2 4 a をそなえて構成されている。

5       この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本構成では、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方を表す意味で使用するものとする。従って、本構成にかかる分散補償制御装置 2 5 1 b は、『偏波モード分散・波長分散補償制御装置』を意味するものとする。

10       ここで、第 1 特定周波数成分検出部 2 a は、伝送路 6 a としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出するものであり、第 1 強度検出部 3 a は、この第 1 特定周波数成分検出部 2 a にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものである。また、  
15       偏波モード分散制御部 2 2 0 a は、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路 6 a の偏波モード分散量を制御するものである。そして、第 2 特定周波数成分検出部 2 2 2 a は、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 2 特定周波数成分を検出するものであり、第 2 強度検出部 2 2 3 a は、この第 2 特定周波数成分検出部 2 2 2 a にて検出された上記第 2 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものである。また、波長分散制御部 2 2 4 a は、第 2 強度検出部 2 2 3 a で検出された第 2 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路 6 a の波長分散量を制御するものである。

25       なお、上記伝送光信号が NRZ 光信号である場合には、第 1 特定周波数成分検出部 2 a が、第 1 特定周波数成分として、ビットレートの 1 /



2に相当する周波数を検出するように構成されるとともに、第2特定周波数成分検出部222aが、第2特定周波数成分として、ビットレートに相当する周波数を検出するように構成されてもよい。

さらに、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路6aの偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえるとともに、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第2特定周波数成分を検出する第2特定周波数成分検出ステップと、第2特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第2特定周波数成分の強度についての情報を検出する第2強度検出ステップと、第2強度検出ステップで検出された第2特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路6aの波長分散量を制御する波長分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

### (A3) 第3の基本ブロックについての構成の説明

図3は本発明の分散補償制御装置の第3の基本ブロックの構成を示す図であり、この図3に示すように、伝送路6a上に設けられた波長分散補償器206a、偏波モード分散補償器7aと、分散補償制御装置251cとをそなえて構成されている。ここで、伝送路6aは、光ファイバ伝送路であり、波長分散補償器206aは、分散補償制御装置251cからの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた波長分散量を補償するものであり、また、偏波モード分散補償器7aは、分散補償制御装置251cからの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた偏波モ

ード分散を補償するものである。

さらに、分散補償制御装置 2 5 1 c は、受信した光信号に基づいて伝送路 6 a を伝送する光信号に生じた波長分散及び偏波モード分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応じて波長分散補償器 2 0 6 a 及び偏波モード分散補償器 7 a を制御するものであって、第 1 特定周波数成分検出部 2 a, 第 1 強度検出部 3 a, 偏波モード分散制御部 2 2 0 a, 波長分散制御部 2 2 4 a をそなえて構成されている。

この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本構成でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方を表す意味で使用するものとする。従って、本構成にかかる分散補償制御装置 2 5 1 c は、『偏波モード分散・波長分散補償制御装置』を意味するものとする。

ここで、第 1 特定周波数成分検出部 2 a は、伝送路 6 a としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出するものであり、第 1 強度検出部 3 a は、この第 1 特定周波数成分検出部 2 a にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものである。また、偏波モード分散制御部 2 2 0 a は、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路 6 a の偏波モード分散量を制御するものであり、波長分散制御部 2 2 4 a は、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路 6 a の波長分散量を制御するものである。

また、上記伝送光信号が R Z 光信号又は光時分割多重信号である場合には、第 1 特定周波数成分検出部 2 a が、第 1 特定周波数成分として、ビットレート又はビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するとともに、上記伝送光信号が N R Z 光信号である場合には、第 1 特定周波

数成分検出部 2 a が、第 1 特定周波数成分として、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するように構成されてもよい。

そして、波長分散制御部 206 a が、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路 6 a 中に設けられた波長分散補償器 206 a に対して波長分散制御量を設定するように構成されてもよく、第 1 強度検出部 3 a にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度から、所定の第 2 関数による演算を行なうことにより上記伝送光信号の波長分散量を検出する波長分散量検出部と、この波長分散量検出部にて検出された上記波長分散量に基づいて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、波長分散補償器 206 a に対して波長分散制御量を設定する波長分散制御量設定部とをそなえて構成されてもよい。さらに、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路 6 a 中に設けられた波長分散補償器 206 a をフィードバック制御するように構成されてもよい。

そしてさらに、本発明の分散補償制御方法は、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出する第 1 特定周波数成分検出ステップと、第 1 特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出ステップと第 1 強度検出ステップで検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路 6 a の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップと、第 1 強度検出ステップで検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路 6 a の波長分散量を制御する波長分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている。

(A 4) 偏波モード分散についての説明

第1～第3の基本ブロックに関して、偏波モード分散について説明すると以下ようになる。

まず、偏波モード分散制御部220aは、第1強度検出部3aで検出  
5 された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路6a中に  
設けられた偏波モード分散補償器7aに対して偏波モード分散制御量を  
設定するように構成されてもよい。

また、この偏波モード分散制御部220aが、任意の伝送光信号を構  
成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を  
10 表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパ  
ラメータとを変数とした第1関数を用いることにより、第1強度検出部  
3aにて検出された上記第1特定周波数成分の強度から、上記伝送光信  
号の偏波モード分散量を検出する偏波モード分散量検出部と、この偏波  
モード分散量検出部にて検出された上記偏波モード分散量に基づいて、  
15 上記伝送光信号の偏波モード分散を補償するための制御量としてのパラ  
メータ情報を有するパラメータ設定制御信号を、偏波モード分散補償器  
7aに対して出力するパラメータ設定部とをそなえて構成されてもよい  
。

さらに、分散補償制御装置251a（又は251b或いは251c）  
20 は、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中における第3特定周  
波数成分を検出する第3特定周波数成分検出部と、この第3特定周波数  
成分検出部にて検出された上記第3特定周波数成分の強度についての情  
報を検出する第3強度検出部とをそなえるとともに、偏波モード分散制  
御部220aが、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバ  
25 ンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該  
周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした第1関

数を用いることにより、第 1 強度検出部及び第 3 強度検出部にてそれぞれ検出された第 1 特定周波数成分の強度及び第 3 特定周波数成分の強度から、上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出する偏波モード分散量検出部と、この偏波モード分散量検出部にて検出された上記偏波モード分散量に基づいて、上記伝送光信号の偏波モード分散を補償するための制御量としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制御信号を、偏波モード分散補償器に対して出力するパラメータ設定部とをそなえて構成することもできる。

ここで、上記パラメータ情報を、2つの偏波モード間の遅延量 $\Delta\tau$ と、上記2つの偏波モードへの光強度の分岐比 $\gamma$ のうちの少なくとも一方としてもよく、パラメータ設定部が、上記伝送光信号の受信端となる受信端装置に設けられた偏波モード分散補償器に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するように構成してもよい。

さらに、パラメータ設定部が、上記伝送光信号を送信する送信端装置又は上記伝送光信号を増幅中継する中継装置に設けられた偏波モード分散補償器に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するように構成されてもよく、伝送路 6 a 上の任意の位置に設けられた第 1 の偏波モード分散補償器に対して、2つの偏波モードへの光強度の分岐比を設定するための第 1 のパラメータ設定制御信号を出力する一方、第 1 の偏波モード分散補償器よりも後段に配置された第 2 の偏波モード分散補償器に対して、上記2つの偏波モード間の遅延量を設定するための第 2 のパラメータ設定制御信号を出力するように構成されてもよい。

また、パラメータ設定部から出力されるパラメータ設定制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、第 1 強度検出部

3 a からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定部におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化する補償量最適化制御部をそなえて構成することもできる。

- 5       さらに、この補償量最適化制御部が、互いに異なる低周波成分を有する 2 つの低周波信号を、上記所定の低周波信号として上記パラメータ設定制御信号に重畳するように構成されとともに、第 1 強度検出部 3 a からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記 2 つの低周波信号成分のうちの一方の低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定部における 2 つの偏波モードへの光強度の分岐比の設定を制御する一方、  
10       第 1 強度検出部 3 a からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記 2 つの低周波信号成分のうちの他方の低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定部における上記 2 つの偏波モード間の遅延量の設定を制御するように構成されてもよく、上記の 2 つの偏波モードへの光強度の分岐比の設定制御及び 2 つの偏波モード間の遅延量の設定制御を、  
15       時間的に切り換えて行なうように構成されてもよい。

また、システム立ち上げ時又はシステム再立ち上げ時に、偏波モード分散補償器 7 a で与える上記偏波モード分散量を示すパラメータを大きく掃引制御する掃引制御部をそなえて構成してもよい。

- 20       そして、偏波モード分散制御部 2 2 0 a が、第 1 強度検出部 3 a で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路 6 a 中に設けられた偏波制御器及び偏波モード間遅延器のうちの少なくとも一方をフィードバック制御するように構成することができる。この偏波モード間遅延器は、偏波ビームスプリッタによって各偏波モード成分を分離して、可変光遅延路によって各偏波モード成分間に遅延差を与えた後  
25       に合波するデバイスとして構成されてもよく、偏波分散値の異なる複数

の偏波保持ファイバを並列に配置し、伝送路 6 a の偏波モード分散量に従って、光信号を透過させる偏波保持ファイバを光スイッチで切り換えるデバイスとして構成されてもよい。

さらに、偏波モード分散制御部 220 a が、偏波制御器内の 1 / 4 波長板の方位角及び 1 / 2 波長板の方位角並びに偏波モード間遅延器の偏波モード間遅延量のいずれかを、第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 1 制御モードによる制御を行なうとともに、第 1 制御モードの後に、残りの制御パラメータの一方を第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させ、その間最初に变化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの他方を固定しておく第 2 制御モードによる制御を行ない、最後に、最初に变化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの一方を固定しながら、残りの制御パラメータの他方を第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させる第 3 制御モードによる制御を行なうように構成されてもよい。

加えて、偏波モード分散制御部 220 a が、偏波制御器内の 1 / 4 波長板の方位角及び 1 / 2 波長板の方位角並びに偏波モード間遅延器の偏波モード間遅延量のいずれかを、第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 4 制御モードによる制御を行なうとともに、第 4 制御モードの後に、残りの制御パラメータの一方を第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、最初に变化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの他方を固定しておく第 5 制御モードによる制御を行ない、最後に、最初に变化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの一方を固定しながら、残

りの制御パラメータの他方を第1特定周波数成分の強度が増大するように変化させる第6制御モードによる制御を行ない、その後は、第1特定周波数成分の強度が極大となるまで、上記の第4制御モード、第5制御モード、第6制御モードを繰り返し実行するように構成されていてもよい。

またさらに、偏波モード分散制御部220aから上記の偏波制御器及び偏波モード間遅延器へ出力される制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、第1強度検出部3aからの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、上記の偏波制御器及び偏波モード間遅延器を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化する補償量最適化制御部をそなえて構成されてもよく、この補償量最適化制御部が、偏波制御器内の1/4波長板の方位角及び1/2波長板の方位角並びに偏波モード間遅延器の偏波モード間遅延量をそれぞれ異なる周波数で低周波変調して、伝送光信号のベースバンドスペクトル中の第1周波数成分強度を検出し、その中に含まれる低周波数成分の強度変調成分が零となるように上記の偏波制御器内の1/4波長板の方位角及び1/2波長板の方位角並びに偏波モード間遅延器の偏波モード間遅延量を最適化するように構成されてもよい。さらに、偏波モード分散制御部220aが、システム稼働中は、偏波制御器のみの制御を行なう一方、システム稼働開始時及び伝送路6aにおける偏波モード分散の条件を決める要素に切換があった時には、偏波モード間遅延器を制御するように構成されてもよい。

また、偏波モード分散制御部220aが、最大許容偏波モード分散量を設定する最大許容偏波モード分散量設定手段をそなえるとともに、第1強度検出部で検出された第1特定周波数成分として、ビットレートの1/2に相当する周波数成分の強度が極大となるように、伝送路6a中



に設けられた偏波制御器及び偏波モード間遅延器のうちの少なくとも一方をフィードバック制御する場合に、システム稼働時においては、偏波モード間遅延器の遅延量を、1タイムスロットから最大許容偏波モード分散量を引いた値として定義される下限値以上で、且つ、最大許容偏波モード分散量の2倍の大きさをもつ値として定義される上限値以下の値に設定しておくこともでき、この偏波モード分散制御部220aが、システム稼働時における偏波モード間遅延器の遅延量を下限値に設定したり、システム稼働時における偏波モード間遅延器の遅延量を上限値に設定することができる。

10 加えて、偏波モード間遅延器が、偏波保持ファイバで構成されてもよく、遅延量を固定した状態の可変偏波モード間遅延器で構成されてもよい。

そして、本発明の偏波モード分散量検出方法を要約すると、まず、伝送ファイバを介して入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の特定周波数成分を検出し（特定周波数成分検出ステップ）、次いで、特定周波数成分検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度について検出し（強度検出ステップ）、その後は、強度検出ステップにて検出された特定周波数成分の強度についての情報から、所定の関数演算を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出する（分散量検出ステップ）。

このとき、分散量検出ステップにおいて、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした関数を用いることにより、上記所定の関数演算を行なうように構成することができる。

さらに、特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定

周波数を、上記伝送光信号におけるベースバンドスペクトルの成分が時間的に安定して得られる周波数に設定されるように構成することもできる。

5       また、上記伝送光信号がR Z光信号又は光時分割多重信号である場合には、特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、ビットレートに相当する周波数に設定されるように構成してもよく、上記伝送光信号があらゆる光変調方式において、特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、ビットレートの1／2に相当する周波数に設定されるように構成してもよい。

10       (A 5) 波長分散補償方法についての説明

第2及び第3の基本ブロックに関して、波長分散補償方法について説明すると以下のようなになる。

波長分散制御部224aは、第2強度検出部223aで検出された第2特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路6a中に  
15       設けられた波長分散補償器206aに対して波長分散制御量を設定するように構成されてもよい。またさらに、波長分散制御部224aが、第2強度検出部223aにて検出された上記第2特定周波数成分の強度から、所定の第2関数による演算を行なうことにより上記伝送光信号の波長分散量を検出する波長分散量検出部と、この波長分散量検出部にて検  
20       出された上記波長分散量に基づいて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、波長分散補償器206aに対して波長分散制御量を設定する波長分散制御量設定部とをそなえて構成されてもよい。

そして、波長分散制御部224aが、第2強度検出部223aで検出された第2特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、伝送路  
25       6a中に設けられた波長分散補償器206aをフィードバック制御するように構成されてもよい。

さらに、第2強度検出部223aが、検出した上記第2特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成されていてもよい。

また、本発明の分散補償制御方法において、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行されてもよく、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行されてもよい。

#### (A6) その他の付帯機能についての説明

本発明の分散補償制御装置251a（又は251b或いは251c）は、第1特定周波数成分検出部2aにて検出された上記第1特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出を行なうタイミング抽出部をそなえて構成されてもよく、また、分散補償制御装置251a（又は251b或いは251c）において、第1強度検出部3aが、検出した上記第1特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成されていてもよい。

なお、この『分散』という単語は、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を有し、分散補償制御装置251aは、『偏波モード分散補償制御装置』を意味するものとする。また、分散補償制御装置251b及び分散補償制御装置251cは、『偏波モード分散・波長分散補償制御装置』を意味するものとする。

#### (B) 本発明の第1実施形態の説明

図4は本発明の第1実施形態にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

この図4に示す光伝送システム10は、時分割多重（TDM：Time Division Multiplexing）方式を採用した伝送速度B（b/s）（例えば40Gb/s，10Gb/s等）の光通信システムである。

この光伝送システム 10 は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 2 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 7 とが光伝送路（伝送ファイバ） 3 を介して接続されたものであり、受信側に分散補償制御装置 1 が設けられている。

- 5       そして、この光受信機 7 は、偏波モード分散補償器 4 と、光分岐部 5 と、光受信部 6 とを有する。この偏波モード分散補償器 4 は、外部からの制御信号を受けて、伝送される光信号に生じた偏波モード分散を補償するものであり、光分岐部 5 は、光受信機 7 内に設けられ、光伝送路 3 を介して受信側に入力される伝送光信号の一部を取り出して、モニタ光  
10       として分散補償制御装置 1 に送出するものである。また、光受信部 6 は、伝送光信号を受信するものである。

- また、この分散補償制御装置 1 は、光分岐部 5 により取り出された光信号に基づいて光伝送路 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器 4 を制御するものであり、受光器 11、バンドパスフィルタ（ $f e$   
15       B P F） 12、強度検出器 13、偏波モード分散制御部 90 をそなえて構成されている。

- この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本実施形態では、この『分散』という単語を、  
20       『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 1 は、『偏波モード分散補償制御装置 1』を表す。

- そして、受光器 11 は、光分岐部 5 により取り出された光信号を受光して、電気信号に変換するものであり、バンドパスフィルタ 12 は、光伝送路 3 を介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンド  
25       スペクトル中の第 1 特定周波数成分〔 $f e$ （H z）成分〕を検出するものであり、第 1 特定周波数成分検出部として機能する。

ここで、この第1特定周波数成分は、光信号の伝送速度や信号波形に応じて適宜設定されるものである。例えば、伝送光信号が40Gb/s RZ光信号（又はOTDM信号）である場合には、バンドパスフィルタ12は、第1特定周波数として、ビットレートに相当する周波数（40GHz）を検出するように構成されている。また、伝送光信号が10Gb/s NRZ光信号である場合には、バンドパスフィルタ12は、第1特定周波数として、ビットレートの1/2に相当する周波数（5GHz）を検出するように構成されている。

さらに、強度検出器13は、バンドパスフィルタ12にて検出された上記第1特定周波数成分の強度について検出するものであり、第1強度検出部として機能する。そして、この強度検出器（第1強度検出部）13が、検出した上記第1特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるようになっている。

そして、この偏波モード分散制御部90は、強度検出器13にて検出された第1特定周波数成分の強度から、上記の伝送光信号の偏波モード分散量を検出するものであって、この機能は、偏波モード分散量検出部14とパラメータ設定回路（パラメータ設定部）15とによって発揮される。

ここで、偏波モード分散量検出部14は、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした第1関数を用いることにより、強度検出器13にて検出された上記第1特定周波数成分の強度から、上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出するものである。

そして、パラメータ設定回路15は、偏波モード分散量検出部14にて検出された上記偏波モード分散量に基づいて、上記伝送光信号の偏波

モード分散を補償するための制御量としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制御信号を、光伝送路 3 中に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して出力するものである。なお、このパラメータ情報とは、具体的には、2つの偏波モード間の遅延量（光遅延差） $\Delta\tau$ を意味する。

5       換言すれば、パラメータ設定回路 15 は、伝送光信号の偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散量検出部 14 にて検出された偏波モード分散量を相殺するようなパラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を、光受信機 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して出力するものである。そして、パラメータ設定回路 15 は、後述  
10       するように、強度検出器 13 にて検出される上記第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、上記パラメータ情報を設定するように構成されている。

ここで、『第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように』とは、この制御態様が、強度検出器 13 にて検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 3 の偏波モード分散量を制御する態様  
15       であることをいい、具体的には、偏波モード分散量検出部 14 が、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を抽出し、その周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした関数（第 1 関数）を用いて第 1 特定周波数成分  
20       の強度の極大箇所を検出するようになっている。なお、その詳細な制御方法については、後述する。

これにより、分散補償制御を実行するステップは、次のようになる。すなわち、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分が検  
25       出され（第 1 特定周波数成分検出ステップ）、この第 1 特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての

情報が検出され（第 1 強度検出ステップ）、第 1 強度検出ステップで検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 3 の偏波モード分散量が制御される（偏波モード分散制御ステップ）。

一方、光受信機 7 内の偏波モード分散補償器 4 は、分散補償制御装置 1 のパラメータ設定回路 15 からのパラメータ設定制御信号を受けて、当該制御信号に基づいてパラメータ情報を設定することにより、光伝送路 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散を補償するものであって、図 5 に示すように、光軸調整器 4 D と偏波保持ファイバ（PMF : Polarization Maintaining Fiber）4 A - 4 とを有する。

ここで、光軸調整器（偏波制御器）4 D は、受信光を偏波保持ファイバ 4 A - 4 に入力する際の軸合わせを行なうものである。つまり、この光軸調整器 4 D は、偏波保持ファイバ 4 A - 4 の偏波主軸方向に入力光信号の偏波状態を合わせ、且つ、偏波保持ファイバ 4 A - 4 で与える遅延量の符号が光伝送路 3 での遅延量を打ち消すように偏波方向を合わせるためのものであり、例えば波長板〔1/2 波長板（ $\lambda/2$  板）4 D - 11 及び 1/4 波長板（ $\lambda/4$  板）4 D - 12〕と、アクチュエータ 4 D - 13, 4 D - 14 からなり、使用している光ファイバの長軸と短軸に合わせて、所定の角度の偏波制御を行なうようになっている。

また、偏波保持ファイバ 4 A - 4 は、直交する 2 つの偏波モード成分に対して、一定の遅延差を与えるものであり、遅延量固定の遅延量補償器としての機能を実際に有する。すなわち、遅延量補償器（ $\Delta\tau$  補償器）としての機能は、2 つの偏波モード間の遅延量  $\Delta\tau$  に関するものであって、偏波保持ファイバ 4 A - 4 によって発揮されていることになる。

これらにより、光送信機 2 から送信された光信号は、光伝送路 3 を通って光受信機 7 に入力される。そして、光軸調整器 4 D において、入力光信号の偏波状態は、偏波保持ファイバ 4 A - 4 で与える遅延量の符号

が光伝送路 3 での遅延量を打ち消すように偏波方向が合わせられる。さらに、光分岐部 5 において、伝送光信号の一部は、モニタ光として分散補償制御装置 1 に送出される一方、その他の光信号は、光受信部 6 に送出される。この分散補償制御装置 1 に入力された光信号は、受光器 1 1  
5 において、光信号から電気信号に変換（O/E 変換）されて、バンドパスフィルタ 1 2 において、入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分（ $f_e$ 〔Hz〕成分）が検出される。さらに、強度検出器 1 3 において、第 1 特定周波数成分の強度についての情報が得られ、偏波モード分散量検出部 1 4 において、偏波モード分散  
10 量が検出される。そして、パラメータ設定回路 1 5 において、伝送光信号の偏波モード分散を補償するようなパラメータ情報  $\Delta \tau$  を設定するためのパラメータ設定制御信号が、光受信機 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して出力されて、伝送光信号の偏波モード分散が補償されるのである。そして、遅延量補償器（光軸調整器 4 D、偏波保持  
15 ファイバ 4 A-4）としての最適制御は、光軸調整器 4 D で与える偏波方向に対して行なわれる。

次に、40 Gb/s 光伝送システムでの偏波モード分散による光信号への影響について調べる実験系の構成を図 6, 7 に示す。また、この実験系を用いて調べた結果を図 8 (a) ~ 図 8 (e), 図 9, 図 10 (a), 図 10 (b) に示す。  
20

図 6 に示す 40 Gb/s 光伝送システム 1 0 0 は、光時分割多重方式を採用する 40 Gb/s 光通信システムを模擬したものである。この光伝送システム 1 0 0 は、光送信機 1 0 1 及び光受信機 1 0 2 が光伝送路 1 0 3 を介して接続されたものであるが、光信号に擬似的に偏波モード  
25 分散を与えるために、偏波制御器（PC）1 0 4 及び市販の偏波モード分散エミュレータ（PMD エミュレータ）1 0 5 が光伝送路 1 0 3 に設



けられている。なお、R Z光信号を用いた場合も、この実験系によって、モニタ可能となる。

ここで光送信機101は、レーザダイオード(LD)101A、光変調器101B、光ポストアンプ101Cをそなえて構成されている。ここで、レーザダイオード101Aは、信号光源であり、光ポストアンプ101Cは、光増幅器である。また、光変調器101Bは、レーザダイオード101Aからの光を40Gb/sの光時分割多重(OTDM)光信号に変調するものであり、この光変調器101Bとしては、図15に示すような光時分割多重変調器(以下、OTDM変調器と称することがある)が用いられる。

図15に示すように、このOTDM変調器200は、20GHz光スイッチ部(1×2 switch)201と、20Gb/sデータ変調部202と、位相制御部(Phase controller)203と、光多重部(Multiplexer)204とをそなえて構成されている。ここで、20GHz光スイッチ部201は、1入力2出力の光スイッチであり、20Gb/sデータ変調部202は、この20GHz光スイッチ部201により分岐された2系列の光クロック信号に独立にデータ変調を行なうものであり、2つの変調部(Two modulators)を有する。さらに、位相制御部203は、この20Gb/sデータ変調部202から出力される2系列の光信号間の光波の位相差を制御するものであり、光多重部204は、位相制御部203から出力される2系列の光信号を合波するものである。なお、光スイッチ部201、データ変調部202、光多重部204からそれぞれ出力される光波形(図15の①～③と付した箇所における光波形)を、図16(a)～図16(c)にそれぞれ示す。これらの図16(a)～図16(c)はそれぞれ、OTDM変調器の動作原理を説明するための図である。これにより、図15に示すOTDM変調器200から出力され

る光信号の光波形は、図 16 (c) に相当する。

また、この PMD エミュレータ 105 により光遅延差  $\Delta \tau$  を変化させて与えた場合の 40 Gb/s 光時分割多重波形であって劣化したものを、図 8 (a) ~ 図 8 (e) に示す。

5      図 6 に戻って、PMD エミュレータ 105 は、詳細には図 7 に示すように、分岐型の光導波路 105 E の分岐部に偏波ビームスプリッタ 105 A が、光導波路 105 E の合波部に偏波ビームスプリッタ (PBS) 105 D がそれぞれ設けられるとともに、光導波路 105 E の一方の平行光導波路 105 F に光ディレイ (光遅延器) 105 B が、光導波路 105 E の他方の平行光導波路 105 G に光減衰器 (光アッテネータ) 105 C がそれぞれ設けられている。

そして、この PMD エミュレータ 105 においては、入力された光信号は、偏波ビームスプリッタ 105 A により 2 つの偏波成分に分離され、平行光導波路 105 F を伝播する偏波成分には、光ディレイ 105 B に  
15      より 2 つの偏波モード間の遅延量 (光遅延差)  $\Delta \tau$  が与えられる。また、平行光導波路 105 F, 105 G の光損失が等しくするため、平行光導波路 105 G を伝播する偏波成分は光減衰器 105 C によりレベルが調整される。さらに、平行光導波路 105 F, 105 G からそれぞれ出力される偏波成分は、偏波ビームスプリッタ 105 D により直交状態のまま合波されて出力される。  
20

また、偏波制御器 104 は、PMD エミュレータ 105 の入力側に設けられ、PMD エミュレータ 105 の偏波ビームスプリッタ (PBS: Polarization Beam Splitter) 105 A における各偏波成分への光強度の分岐比  $\gamma$  (以下、光強度分岐比と称することもある) を変化させるものである。  
25

このように、偏波制御器 104 及び PMD エミュレータ 105 により、

光信号に擬似的に偏波モード分散（遅延量 $\Delta\tau$ ，光強度分岐比 $\gamma$ ）が与えられるのである。

再度図6に戻って、光受信機102は、光プリアンプ102A，光D  
EMUX（Demultiplex）102B，フォトダイオード（PD）102C，  
5 アンプ102D，HBT-D-FF102E，受信部102F，フォト  
ダイオード（PD）102G，バンドパスフィルタ（BPF）102H，  
タイミング抽出部（PLL）102I，偏波モード分散モニタ（PMD  
モニタ）102Jをそなえて構成されている。

この光受信機102において、偏波モード分散の状態をモニタする方  
10 法は、図6に示す光プリアンプ102Aから出力される主信号系から分  
岐された光信号（フォトダイオード102Gに入力する方）を使用する。  
すなわち、この40Gb/s光信号は、フォトダイオード102Gにお  
いて、電気信号に変換（O/E変換）された後、40GHzのバンドパ  
スフィルタ102Hにおいて、光信号のベースバンドスペクトル中の4  
15 0GHz成分が抽出され、PMDモニタ102Jのパワーメータにより  
、抽出された40GHz成分の強度が、測定される。

次に、受信感度劣化の $\Delta\tau$ （遅延量）及び $\gamma$ 依存性を、図9（Iと付  
した方），図10（a）を用いて説明する。また、40GHz成分強度  
の $\Delta\tau$ 及び $\gamma$ 依存性を、図9（IIと付した方），図10（b）を用いて  
20 説明する。ここで、図9のI，IIはそれぞれ、光強度分岐比 $\gamma=0.5$   
とした場合における、受信感度劣化の $\Delta\tau$ 依存性と40GHz成分強度  
の $\Delta\tau$ 依存性とを示すものである。

この図9の符号Iと付した方は、伝送による受信感度劣化（パワーペ  
ナルティ）の $\Delta\tau$ 依存性を表すものであり、また図9の符号IIと付した  
25 方は、光強度分岐比 $\gamma=0.5$ での40GHz成分強度の $\Delta\tau$ 依存性を  
示すものである。この図9の符号IIと付した方のように、40GHz成

分強度は、 $\Delta \tau = 0$  (ps) のときを極大として、 $\Delta \tau$  が増大するにつれて減少し、 $\Delta \tau = 12.5$  (ps) で極小となる。さらに  $\Delta \tau$  が増大すると、40 GHz 成分強度は増大に転じ、1 タイムスロットと同じ値 ( $\Delta \tau = 25$  ps) になったときに元の強度と等しくなる。

- 5      また、図 10 (b) に、遅延量  $\Delta \tau = 10$  (ps) とした場合における 40 GHz 成分強度の光強度分岐比  $\gamma$  依存性を示す。この図 10 (b) に示すように、40 GHz 成分強度は、 $\gamma = 0.5$  のときに極小となり、 $\gamma = 0$  又は 1 のときに最大となる。

- 10      一方、図 9 の符号 I を付した方、及び図 10 (a) のように、伝送による受信感度劣化の  $\Delta \tau$  依存性の測定結果から、 $\Delta \tau$  に関しては  $\Delta \tau = 0$  (ps) のときが、伝送による受信感度劣化が最小となる最良の状態であり、また、光強度分岐比  $\gamma$  に関しては  $\gamma = 0$  又は 1 のときが、伝送による受信感度劣化が最小となる最良の状態であることがわかる。これは、上述したように 40 GHz 成分強度が最大になる場合と一致する。
- 15      また、偏波モード分散による波形劣化が最大になる  $\gamma = 0.5$  のときには、図 9 の符号 I を付した方に示すように、伝送後の受信感度劣化が 1 dB 以下となるような偏波モード分散の許容値 (PMD 耐力) は、約 9 ps となる。

- 20      さらに、図 11 は、伝送速度 B の値が 40 GHz ではなく、10 Gb/s NRZ 伝送システムの実験系の構成であるが、この図 11 に示す 10 Gb/s NRZ 伝送システム 110 は、NRZ 信号を伝送する 10 Gb/s 光通信システムを模擬したものである。また、この偏波モード分散制御による光信号への影響について調べた結果を、図 12 (a) ~ 図 12 (j), 図 13, 図 14 (a), 図 14 (b) に示す。

- 25      図 11 に示す NRZ 伝送システム 110 も、光送信機 111 及び光受信機 112 が光伝送路 113 を介して接続されたものであるが、光信号

に対して擬似的に偏波モード分散を与えるために、偏波制御器（PC）  
114及び市販の偏波モード分散エミュレータ（PMDエミュレータ）  
115が光伝送路113に設けられている。なお、光伝送路113には、  
実験に応じて、長さ50kmの1.3 $\mu$ m帯零分散ファイバ（SMF）  
5 113Aが介装される。

ここで、偏波制御器114及びPMDエミュレータ115は、光信号  
に擬似的に偏波モード分散（遅延量 $\Delta\tau$ ，光強度分岐比 $\gamma$ ）を与えるも  
のであり、それぞれ前述した偏波制御器104及びPMDエミュレータ  
105（図6参照）と同様のものである。また、光送信機111は、レ  
10 ーザダイオード（LD）111A，光変調器111B，光ポストアンプ  
111Cをそなえて構成されている。

また、光送信機111の光変調器111Bは、レーザダイオード11  
1Aからの光を10Gb/sのNRZ光信号に変調するものであり、こ  
の光変調器111Bとしては、マッハツェンダ型のニオブ酸リチウム光  
15 変調器（LiNbO<sub>3</sub>光変調器；図示せず）が用いられる。なお、10  
Gb/s NRZ波形は、ニオブ酸リチウム光変調器を10Gb/s NR  
Z電気信号で駆動することにより生成される。

ここで、図11に示す光変調器111Bから出力される10Gb/s  
NRZ光信号に、PMDエミュレータ115により光遅延差 $\Delta\tau$ を変化  
20 させて与えた場合の、受信端での劣化した10Gb/s NRZ波形を、  
図12（a）～図12（j）に示す。ここで、図12（a）～図12  
（e）は、SMF113Aを介した伝送（ファイバ伝送）を行なわない  
場合の10Gb/s NRZ波形であり、図12（f）～図12（j）は、  
SMF113Aを介した伝送を行なった場合の10Gb/s NRZ波形  
25 である。

図11に戻って、光受信機112は、光プリアンプ112A，フォト

ダイオード (PD) 112B, 受信部 112C, フォトダイオード (PD) 112D, バンドパスフィルタ (BPF) 112E, 偏波モード分散モニタ (PMDモニタ) 112Fをそなえて構成されている。この光受信機 112において偏波モード分散をモニタする処理の流れは、次のようになる。すなわち、主信号系から分岐した光信号はフォトダイオード 112Dにより電気信号に変換 (O/E変換) された後、5GHzのバンドパスフィルタ 112Eにおいて、光信号のベースバンドスペクトル中の 5GHz成分が抽出され、PMDモニタ 102Fとしてのパワーメータにおいて、抽出された 5GHz成分の強度が測定される。なお、10 10Gb/s NRZ信号は 10GHz成分強度をもたないので、その半分の 5GHz成分を抽出して、その強度を測定している。

図13は、光強度分岐比  $\gamma = 0.5$  とした場合における、伝送による受信感度劣化 (パワーペナルティ) の  $\Delta\tau$  (遅延量) 依存性 (図13の符号III参照) と、5GHz成分強度の  $\Delta\tau$  依存性 (図13の符号IV参照) とを示すものである。この図13の符号IVを付した方に示すように、5GHz成分強度は、伝送速度 40Gb/s OTDM信号の場合と同様に  $\Delta\tau = 0$  (ps) のときに極大となっているが、 $\Delta\tau$  に対する周期が1タイムスロットの2倍となっている点が伝送速度 40Gb/s OTDM信号の場合とは異なっている。

20 図14(a)に受信感度劣化の光強度分岐比  $\gamma$  依存性の測定結果を示す。また、図14(b)に、遅延量  $\Delta\tau = 40$  psとした場合における5GHz成分強度の  $\gamma$  依存性を示す。この図14(a)に示すように、受信感度劣化は、 $\gamma = 0.5$  のときに極大となり、 $\gamma = 0$  又は 1 のときに最小となる。また、この図14(b)に示すように、5GHz成分強度は、伝送速度 40Gb/s OTDM信号の場合と同様に  $\gamma = 0.5$  のときに極小となり、 $\gamma = 0$  又は 1 のときに最大となる。

図 1 3, 図 1 4 ( a ), ( b ) より、 $\Delta \tau$  に関しては  $\Delta \tau = 0$  ( p s ) のときが、また、 $\gamma$  に関しては  $\gamma = 0$  又は 1 のときが、伝送による受信感度劣化が最小となる最良の状態であり、これは、上述したように 5 G H z 成分強度が最大になる場合と一致する。

- 5        また、偏波モード分散による波形劣化が最大になる  $\gamma = 0.5$  のときには〔図 1 4 ( a ) 参照〕、伝送後の受信感度劣化が 1 d B 以下となるような偏波モード分散の許容値 ( P M D 耐力 ) は、ファイバ伝送を行っていない場合には、図 1 3 の符号 III に示すように約 3 0 p s となる。

- 10        このように、PMD 耐力は、光信号の伝送速度 ( ビットレート ) にほぼ反比例することがわかる。

つまり、光信号の伝送速度が大きくなるほど、また、光信号の伝送距離が長くなるほど、偏波モード分散の影響は無視できなくなるのである

- ところで、所定の周波数成分の強度検出方法は、次のようになる。すなわち、偏波モード分散量検出部 1 4 ( 図 4 参照 ) が、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を抽出し、その周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした関数 ( 第 1 関数 ) を用いて第 1 特定周波数成分の強度の極大箇所を検出するようにしている。ここでいう第 1 関数とは、4 0 G b / s R Z 波形における 2 0 G H z 成分強度の  $\Delta \tau$  に対する依存性や、1  
20        0 G b / s N R Z 波形における 5 G H z 成分強度の  $\Delta \tau$  に対する依存性を、定量的に表した関数であって、 $\Delta \tau$  及び  $\gamma$  によって決まる関数をいう。以下、この第 1 関数について説明を行なうが、以降の制御方法の区別のために、この関数を使用した制御方法を特に制御態様 1 と称することとする。

- 25        まず、偏波モード分散 ( 遅延量  $\Delta \tau$ , 光強度分岐比  $\gamma$  ) を与えない場合の光強度の時間変化を  $F ( t )$  とすると、偏波モード分散を与えた場

合の光強度の時間変化は、(1) 式のようになる。

$$\gamma F(t) + (1 - \gamma) F(t + \Delta \tau) \quad \dots (1)$$

そして、受光後の電気信号の電界強度はその値に比例し、強度検出器

13 (図4参照) ではその二乗の値を強度の時間変化として検出する。

5 従って、光信号のベースバンドスペクトル  $P(f)$  は、フーリエ変換から、式(2) のように与えられる。

$$P(f)$$

$$= \left| \int \{ \gamma F(t) + (1 - \gamma) F(t + \Delta \tau) \} \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2$$

$$= \left| \gamma \int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt + (1 - \gamma) \int F(t + \Delta \tau) \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2$$

$$10 = \left| \gamma \int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt \right.$$

$$\left. + (1 - \gamma) \cdot \exp(-i\omega \Delta \tau) \int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2$$

$$= K(f) \cdot \left| \int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2 \quad \dots (2)$$

但し、比例係数  $K(f)$  は式(3) の通りに表される。

$$K(f) = \left| \gamma + (1 - \gamma) \cdot \exp(-i\omega \Delta \tau) \right|^2$$

$$15 = \left| \gamma + (1 - \gamma) \cdot \{ \cos(\omega \Delta \tau) - i \cdot \sin(\omega \Delta \tau) \} \right|^2$$

$$= 1 - 4 \gamma (1 - \gamma) \sin^2(\pi f \Delta \tau) \quad \dots (3)$$

なお、 $\omega = 2 \pi f$  である。

このように、偏波モード分散状態に関するパラメータ  $\Delta \tau$ 、 $\gamma$  は、 $K$

( $f$ ) のみに含まれるため、偏波モード分散がない場合の光信号のベー

20 スバンドスペクトル  $\left| \int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt \right|^2$  と分離することができる。

また、式(3) から  $K = K(f, \Delta \tau, \gamma)$  となるので、上記第1特

定周波数成分  $f_e$  (Hz) をバンドパスフィルタ12 (図4参照) にて

抽出して、強度検出器13にて強度検出した場合、 $K(f, \Delta \tau, \gamma)$

25  $= K(f_e | \Delta \tau, \gamma)$  となって、遅延量  $\Delta \tau$  及び光強度分岐比  $\gamma$  に依

存することになる。ここで、 $K(f_e | \Delta \tau, \gamma)$  は、 $f_e$  が与えられ



たときの、変数  $\Delta \tau$ ,  $\gamma$  をもつ関数である。従って、受信側において、2 種類の周波数  $f_e$  (Hz) での光強度 (の比例係数)  $K(f)$  を計測することによって、伝送路上での  $\Delta \tau$  と  $\gamma$  とを一意に決定することができる。

- 5        しかも、光波形を表す一般式  $F(t)$  に対して、式 (2) が成立することから、 $K(f_e)$  で偏波モード分散状態を検出できるという上記の結果は、信号形式 (NRZ 又は RZ) や、波長分散・非線形効果等の波形変化に関わらず成立する。なお、10 Gb/s NRZ 伝送システムにおける実験結果では、ファイバ (SMF) 伝送時に 5 GHz 成分強度が
- 10        大きくなっているが、これは  $|\int F(t) \cdot \exp(i\omega t) dt|^2$  が大きくなっているためであり、偏波モード分散に関して  $K(f_e)$  に比例するという結果には従っている。

- 上述したように、偏波モード分散状態が最良になるとき、すなわち、偏波モード分散による波形劣化が最小となるときは、 $f_e$  (Hz) 成分
- 15        強度が最大になるときと一致するので、光伝送路 3 に設けられた偏波モード分散補償器 4 により、遅延量  $\Delta \tau$  を制御して偏波モード分散を補償する際に、式 (2), (3) を用いて偏波モード分散量を検出することができるのである。これにより、上記パラメータ情報を、2 つの偏波モード間の遅延量  $\Delta \tau$  としていることになる。

- 20        すなわち、信号形式 (NRZ 又は RZ 等), 波長分散・非線形効果等の波形変化に関わらず、光信号のベースバンドスペクトル中から抽出された周波数成分強度から、偏波モード分散 (遅延量  $\Delta \tau$  及び光強度分岐比  $\gamma$  の関数) の状態が定量的に検出できるように、式 (2), (3) が一般化されているのである。

- 25        換言すれば、式 (2), (3) は、偏波モード分散量検出部 14 において伝送光信号の偏波モード分散量を検出する際に用いられる、任意の

伝送光信号（例えば  $40\text{ Gb/s}$  OTDM信号や  $10\text{ Gb/s}$  NRZ信号）を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度の第1関数（その周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした関数）に相当する。

5       これにより、図4に示す光伝送システム10における、信号の流れは次のようになる。光送信機2から送信された伝送速度  $B$  ( $\text{b/s}$ ) の光信号は、光伝送路3を介して光受信機7に伝送され、受信端において、伝送された光信号に生じた偏波モード分散を補償すべく、光分岐部5により、光伝送路3を介して伝送される光信号の一部が取り出され、取り  
10   出された光信号（モニタ光）が分散補償制御装置1に送出される。そして、分散補償制御装置1においては、光分岐部5により取り出された光信号に基づいて光伝送路3を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態がモニタされるとともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器4の制御が行なわれる。

15       この偏波モード分散量検出ステップ（制御態様1による検出ステップ）は、次のようになる。まず、分散補償制御装置1においては、光分岐部5により取り出された光信号は、受光器11により受光されて、電気信号に変換（O/E変換）された後に、バンドパスフィルタ12に入力される。

20       そして、バンドパスフィルタ12において、伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分〔 $f_e$  (Hz) 成分〕が検出され（特定周波数成分検出ステップ）、強度検出器13により、特定周波数成分検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度が検出される（強度検出ステッ  
25   プ）。さらに、偏波モード分散量検出部14において、強度検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度についての情報から、所定

の関数演算〔上述の式（２），（３）を用いた関数演算〕を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量が検出される（分散量検出ステップ）。

ここで例えば、上記伝送光信号が  $40\text{ Gb/s RZ}$  光信号又は  $40\text{ Gb/s OTDM}$  信号である場合には、この特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、ビットレートに相当する周波数（ $40\text{ GHz}$ ）に設定されている。さらに、上記伝送光信号が  $10\text{ Gb/s NRZ}$  光信号である場合には、この特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数（ $5\text{ GHz}$ ）に設定されている。すなわち、この特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、上記伝送光信号におけるベースバンドスペクトルの成分が時間的に安定して得られる周波数に設定されていることになる。

また、この偏波モード分散量検出部 14（分散量検出ステップに相当）では、任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした第 1 関数を用いることにより、上記所定の関数演算（第 1 関数演算）が行なわれる。

そして、パラメータ設定回路 15 において、伝送光信号の偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散量検出部 14 にて検出された偏波モード分散量を相殺するようなパラメータ情報（遅延量  $\Delta\tau$ ）を設定するためのパラメータ設定制御信号が、光受信機 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して出力される。

すなわち、分散補償制御装置 1 では、強度検出器 13 により検出された  $f_e$ （ $\text{Hz}$ ）成分強度の値から、偏波モード分散量検出部 14 により光伝送路 3 の偏波モード分散の状態〔これは遅延量  $\Delta\tau$  及び  $\gamma$  の関数

〔上式（２），（３）〕として表される〕が検出され、偏波モード分散補償器４を制御すべく、その情報がパラメータ設定回路１５を通じて偏波モード分散補償器４にフィードバックされる。

5     そして、偏波モード分散補償器４では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路３を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。

10     このように、本発明の第１実施形態にかかる分散補償制御装置１によれば、制御態様１（第１関数を用いた方法）によって、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第１特定周波数成分の強度を検出して、検出した第１特定周波数成分の強度から、所定の第１関数演算を行な

15     て伝送光信号の偏波モード分散量を検出することにより、伝送光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出することができるようになる。

またこのようにして、偏波モード分散量が常時検出され、検出された偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号に生じた偏波モード分散を補償するためのパラメータ情報を設定することにより、偏波モード分散を補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために寄与することができるようになる。

20     なお、上記の図４において、バンドパスフィルタ（第１特定周波数成分検出部）１２にて検出された上記第１特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出を行なうようにもできる。図１７は、本発明の第１実施形態にかかるタイミング抽出部８４を設けた分散補償制御装置１Ｍをそなえた光伝送システムの構成を示すブロック図であるが、このタイミング抽出部８４は、バンドパスフィルタ１２にて検出された第１特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出を行なうもので

25     あり、PLL（Phase-Locked Loop）等が用いられる。なお、図１７中で、図４と同一の符号を有するものは、同一のものであるので、更なる説明

を省略する。

このように、 $f_e$  (Hz) 成分は受信波形に同期した信号であるため、タイミング抽出部 84 でクロック信号を取り出し、光受信機 7 における識別等に用いることができるようになる。

5 (B1) 第1実施形態の第1変形例の説明

図18は本発明の第1実施形態の第1変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図であり、この図18に示す光伝送システム210Aも、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  (b/s) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムである。この光伝送システム210Aは、光送信機2と、光受信機207aとが光伝送路(伝送ファイバ)3を介して接続されたものであり、受信側に分散補償制御装置1Mが設けられている。ここで、光送信機2、光伝送路3は、上述したものと同一なものであるため、更なる説明を省略する。

15 この光伝送システム210Aは、第1実施形態のそれと比して、光分岐部205aから2系統の信号が出ているところが異なっている。すなわち、第1実施形態の場合は、特定周波数成分を検出する周波数値は1種類であるのに対して、本変形例では、特定周波数成分を検出する周波数値は2種類となっている。ここで、以降の説明のために、前者を検出形式1と称し、また、後者を検出形式2と称することとする。制御態様を整理すると、第1実施形態は、検出形式1を用いて制御態様1をとり、本変形例は、検出形式2を用いて制御態様1をとっていることになる。

20 さらに、第1関数とそのパラメータとの関係については、 $K = K(f, \Delta\tau, \gamma)$  なので、検出形式1を用いた受信側は、1種類の周波数  $f$  とそのときの光強度  $K$  を検出できるだけで、 $\Delta\tau$  或いは  $\gamma$  のうちの片方の値を知っていなければ、 $\Delta\tau$  と  $\gamma$  との値を決定できず、制御値を決

定できない。そのため、 $\Delta\tau$ と $\gamma$ との値が一意に決定できなくても可能な制御方式、例えば最大値制御方式等、を用いる必要がある。

一方、検出形式2を用いた受信側は、2種類の周波数 $f_1$ 、 $f_2$ とそのときの光強度 $K_1$ 、 $K_2$ をそれぞれ検出できるので、 $\Delta\tau$ と $\gamma$ との両方の値を決定でき、制御値を決定できる。ところで、受信側において、直接 $\gamma$ の値を調節するのは、実際上困難であるために、この $\gamma$ は、制御に使用されるというよりはむしろ、モニタリングに使用されるようになっている（図18のパラメータ設定回路15の出力を参照）。なお、この検出形式2は、1つの偏波モード分散補償を行なうのに、2系統の相異なる周波数が使用されている形式を意味する（後述する波長分散補償を行なう場合も同様な意味で使用する）。

光受信機207aは、偏波モード分散補償器4、光分岐部205a、光受信部6をそなえて構成されている。これらの偏波モード分散補償器4、光受信部6は、上述したものと同一なものであるため、更なる説明を省略する。また、光分岐部205aは、光伝送路3を介して受信側に入力される伝送光信号の一部を取り出して、2系統のモニタ光として分散補償制御装置1Mに送出するものである。

そして、この分散補償制御装置1Mは、光分岐部205aにより取り出された光信号に基づいて光伝送路3を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器4を制御するものであり、受光器11a、11b、バンドパスフィルタ（ $f e$  BPF）12a、12b、強度検出器13a、13b、偏波モード分散制御部90aをそなえて構成されている。これら受光器11a、11b、バンドパスフィルタ12a、12b、強度検出器13a、13bは、上述した受光器11、バンドパスフィルタ12、強度検出器13とそれぞれ同様なものであるため、更なる説明を省略

する。

この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本変形例では、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 1 M は、『偏波モード分散補償制御装置 1 M』を表す。

この偏波モード分散制御部 9 0 a は、制御態様 1 を用いて検出形式 2 を使用した制御を行なうものである。すなわち、偏波モード分散制御部 9 0 a は、強度検出器 1 3 a にて検出された第 1 特定周波数成分の強度と、強度検出器 1 3 b にて検出された第 3 特定周波数成分の強度とから、上記の伝送光信号の偏波モード分散量を検出するものであって、この機能は、偏波モード分散量検出部 1 4 とパラメータ設定回路 1 5 とによって発揮される。なお、これら偏波モード分散量検出部 1 4 とパラメータ設定回路 1 5 も、上述したものと同様なので、更なる説明を省略する。

そして、偏波モード分散制御部 9 0 a の制御方法は、次のようになる。すなわち、2 つの強度検出器 1 3 a, 1 3 b によって得られた、2 種類の周波数情報（第 1 特定周波数成分情報及び第 3 特定周波数成分情報）が、第 1 関数にて、二元連立方程式を解くようにして、パラメータ  $\Delta \tau$ ,  $\gamma$  が、決定され、 $\Delta \tau$  は制御される一方で、 $\gamma$  はモニタリングに使用されるのである。ここで、第 1 関数とは、40 Gb/s OTDM 波形における 40 GHz 成分強度の  $\Delta \tau$  に対する依存性や、10 Gb/s NRZ 波形における 5 GHz 成分強度の  $\Delta \tau$  に対する依存性に関する定式化されたものをいう。なお、この  $\gamma$  が送信側にもフィードバックできる場合は、光強度の分岐比制御も可能となる（この実施態様に関しては、別の変形例にて後述することとする）。

すなわち、この分散補償制御装置 1 M は、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中における第 3 特定周波数成分を検出する第 3 特定周

波数成分検出部（バンドパスフィルタ 1 2 b）と、第 3 特定周波数成分  
検出部にて検出された上記第 3 特定周波数成分の強度についての情報を  
検出する第 3 強度検出部（偏波モード分散量検出部 1 4）とをそなえる  
とともに、偏波モード分散制御部 9 0 a が、任意の伝送光信号を構成す  
5 る光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す  
関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメ  
ータとを変数とした第 1 関数を用いることにより、第 1 強度検出部及び  
第 3 強度検出部（偏波モード分散量検出部 1 4）にてそれぞれ検出され  
た第 1 特定周波数成分の強度及び第 3 特定周波数成分の強度から、上記  
10 伝送光信号の偏波モード分散量を検出する偏波モード分散量検出部 1 4  
と、偏波モード分散量検出部 1 4 にて検出された上記偏波モード分散量  
に基づいて、上記伝送光信号の偏波モード分散を補償するための制御量  
としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制御信号を、偏波モー  
ド分散補償器 4 に対して出力するパラメータ設定回路 1 5 とをそなえて  
15 構成されていることになる。なお、このパラメータ情報を、2つの偏波  
モード間の遅延量（光遅延差） $\Delta \tau$ としている。そして、パラメータ設  
定回路 1 5 は、上記伝送光信号の受信端となる受信端装置（光受信機 7  
a）に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して、上記パラメータ情  
報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するように構成され  
20 ていることになる。

そして、このような構成によって、受信光は、光分岐部 2 0 5 aにお  
いて、2分岐されてから、受光器 1 1 a, 1 1 bにてO/E変換されて  
から、バンドパスフィルタ 1 2 a, 1 2 bにそれぞれ入力される。バン  
ドパスフィルタ 1 2 aにおいて、伝送ファイバを介して受信側に入力さ  
25 れる伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成  
分が検出されるとともに、バンドパスフィルタ 1 2 bにおいて、伝送フ



ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第3特定周波数成分が検出される（特定周波数成分検出ステップ）。さらに、強度検出器13a, 13bにより、特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分と第3特定周波数成分の強度が検出される（強度検出ステップ）。さらに、偏波モード分散量検出部14において、強度検出ステップにて検出された上記2種類の特定周波数成分の強度についての情報から、所定の関数演算〔上述の式（2）, （3）を用いた関数演算〕を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量が検出される（分散量検出ステップ）のである。

10       このように、偏波モード分散による波形劣化が最小となるときの、 $f_e$ （Hz）成分強度が最大になるときが一致することを使用し、かつ、制御態様1及び検出形式2によって、偏波モード分散量が検出されるので、光伝送路3に設けられた偏波モード分散補償器4により、遅延量 $\Delta\tau$ を制御して偏波モード分散を補償できる。

15       また、このように、信号形式（NRZ又はRZ等）、波長分散・非線形効果等の波形変化に関わらず、光信号のベースバンドスペクトル中から抽出された周波数成分強度から偏波モード分散（遅延量 $\Delta\tau$ の関数）の状態を定量的に検出できる。

#### （B2）第1実施形態の第2変形例の説明

20       上記の図4、図17等では、偏波モード分散補償器4が、光受信機7側に設置されているが、この偏波モード分散補償器4を、信号光を送信する側に設置するように構成することもできる。

図19は、本発明の第1実施形態の第2変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。この  
25       図19に示す光伝送システム10Aも、時分割多重方式を採用した伝送速度B（b/s）（例えば40Gb/s, 10Gb/s等）の光通信シ

システムであるが、この光伝送システム 10 A は、第 1 実施形態にかかる光伝送システム 10 と比して、偏波モード分散補償器 4 が光送信機 2 A 内に設けられている点が異なっている。すなわち、この光伝送システム 10 A は、光送信機 2 A、光伝送路 3、光分岐部 5、光受信機 7 A、分散補償制御装置 1 をそなえて構成されており、この光送信機 2 A は、信号光源 8、光変調器 9、偏波モード分散補償器 4 を有する。

ここで、分散補償制御装置 1 は、制御態様 1 を用いて、光受信機 7 A 側にて光信号の偏波状態が検出された結果を、送信側である光送信機 2 A にまで返送するようになっている。この返送の方法は、例えば、低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本変形例では、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 1 は、『偏波モード分散補償制御装置』を表す。

また、光送信機 2 A 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 は、送信光の光強度分岐比  $\gamma$  を変えて送光できるようになっている。ここで、図示はしないが、光増幅器が、この偏波モード分散補償器 4 の出力側に設けられており、これが、光伝送路 3 に送信するようになっている。なお、その他のもので、上述したものと同一の符号をもつものは、同一なもの或いは同等な機能を有するものであるので、更なる説明を省略する。また、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。

すなわち、この第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置 1 においては、パラメータ設定回路 15 が、上記伝送光信号を送信する光送信機 2 A（送信端装置）に設けられた偏波モード分散補償器 4 に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を

出力するように構成されていることになる。

このような構成により、この光伝送システム 10 A においても、第 1 実施形態にかかる分散補償制御装置 1 が適用される光伝送システム 10 とほぼ同様の動作が行なわれる。ここで、この分散補償制御装置 10 A  
5 は、制御態様 1 で検出形式 1 を用いている。

また、第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置 1 によれば、前述した第 1 実施形態の場合と同様の利点を得られるほか、光送信機 2 A 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 を制御することにより、光伝送路 3 の状態に応じて光強度分岐比  $\gamma$  が最良の状態 ( $\gamma = 0$  又は  
10 1) となるように偏波方向を制御することができるので、伝送光信号に生じた偏波モード分散をより効果的に補償することができる。

なお、この偏波モード分散補償器 4 は、光伝送路 3 上に線型中継器等として構成することもできる。

図 20 は、本発明の第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される他の光伝送システムの構成を示すブロック図である。  
この図 20 に示す光伝送システム 210 B も、時分割多重方式を採用した伝送速度 B ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムであるが、この光伝送システム 210 B は、第 1 実施形態に係る光伝送システム 10 と比して、偏波モード分散補償器 4 が光中継装置 (Optical Repeater) 214 内に設けられている点が異なっている。  
20

すなわち、この光伝送システム 210 B は、光送信機 2, 光伝送路 3 及び 3', 光受信機 7 A をそなえとともに、光中継装置 214 をそなえて構成されている。この光中継装置 214 は、上記伝送光信号を増幅中継するものであって、光中継器 7' と、分散補償制御装置 1 とを設けて  
25

ここで、光中継器 7' は、光送信機 2 からの信号光を受信するととも

に、光受信機 7 A に対して光増幅して送信するもので、偏波モード分散補償器 4、光分岐部 5 をそなえるほか、光増幅及び光再送信を行なう光中継部 6' をそなえて構成されている。なお、これら以外の、光送信機 2、光伝送路 3 及び 3'、光受信機 7 A、分散補償制御装置 1 は、第 1 実施形態にかかる光伝送システム 10 と同様な機能を有するものである  
5      ので、更なる説明は省略する。

また、分散補償制御装置 1 は、検出形式 1 及び制御態様 1 を用いて光中継器 7' にて検出された光信号の偏波状態の結果を、送信側である光送信機 2 にまで返送するようになっており、また、偏波モード分散補償器 4 に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するようになっている。この返送の方法は、例えば、低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。なお、その他のもので、上述したものと同一の符号をもつものは、同一なもの或いは同等な機能を有するものである  
10      ので、更なる説明を省略する。  
15      

そして、このような構成により、この光伝送システム 210 Bにおいても、検出形式 1 且つ制御態様 1 を用いた第 1 実施形態にかかる分散補償制御装置 1 が適用される光伝送システム 10 とほぼ同様の動作が行なわれる。また、このようにして、前述した第 1 実施形態の場合と同様の利点が得られるほか、中継装置 214 内に設けられた偏波モード分散補償器 4 を制御することにより、光伝送路 3 の状態に応じて、伝送光信号に生じた偏波モード分散をより効果的に補償することができるようになる。  
20      

さらに、偏波モード分散補償器 4 の構成を変えてもよい。

25      図 21 は本発明の第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる、他の分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。

この図 2 1 に示す光伝送システム 1 0 B も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムである。

この光伝送システム 1 0 B は、第 1 実施形態における光伝送システム 1 0 と比して、偏波モード分散補償器 4 が分割されて、 $\gamma$  補償器 4 B' 及び  $\Delta\tau$  補償器 4 A が、それぞれ光送信機 2 B 内及び光受信機 7 B 内に設けられている点が異なり、その他の点は第 1 実施形態にかかる光伝送システム 1 0 と同様のものである。すなわち、この光伝送システム 1 0 B は、光送信機 2 B, 光伝送路 3, 光受信機 7 B をそなえとともに、分散補償制御装置 1 A をそなえて構成されている。

ここで、光送信機 2 B は、伝送光信号を送信する送信端装置であり、信号光源 8, 光変調器 9 をそなえるほか、 $\gamma$  補償器 4 B' を有する。光伝送路 3 は、伝送ファイバであり、光受信機 7 B は、伝送光信号を受信する受信端装置であり、光分岐部 5, 光受信部 6 をそなえるほか、 $\Delta\tau$  補償器 4 A を有する。

また、分散補償制御装置 1 A は、制御態様 1 を用いて、伝送される光信号に生じた偏波モード分散を補償するための制御装置であり、受光器 1 1, バンドパスフィルタ ( $f e \text{ BPF}$ ) 1 2, 強度検出器 1 3, 偏波モード分散量検出部 1 4, パラメータ設定回路 1 5 を有する。このパラメータ設定回路 1 5 は、 $\Delta\tau$  を設定する  $\Delta\tau$  設定回路 1 5 A と、 $\gamma$  を設定する  $\gamma$  設定回路 1 5 B を有する。なお、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。

そして、偏波モード分散量検出部 1 4 にて検出された偏波状態の情報は、このパラメータ設定回路 1 5 内の  $\gamma$  設定回路 1 5 B によって、光送信機 2 B 内の  $\gamma$  補償器 4 B' に設定されて、また、同様にこのパラメータ設定回路 1 5 内の  $\Delta\tau$  設定回路 1 5 A によって、光受信機 7 B 内の  $\Delta$

$\tau$  補償器 4 A に設定されるようになっている。また、これら偏波モード分散量検出部 1 4 とパラメータ設定回路 1 5 とで、偏波モード分散制御部 9 0 b として機能している。

すなわち、この光伝送システム 1 0 B においては、分散補償制御装置 1 A により光信号の受信側（光受信機 7 B 側）で偏波状態が検出された  $\gamma$  に関する情報を、送信側（光送信機 2 B 側）まで送出されるので、光強度分岐比  $\gamma$  を可変に制御できる。

またこれから、この分散補償制御装置 1 A は、パラメータ設定回路 1 5 が、伝送路上の任意の位置（光送信機 2 B 内）に設けられた第 1 の偏波モード分散補償器（ $\gamma$  補償器 4 B'）に対して、2 つの偏波モードへの光強度の分岐比  $\gamma$  を設定するための第 1 のパラメータ設定制御信号を出力する一方、第 1 の偏波モード分散補償器よりも後段（光受信機 7 B 内）に配置された第 2 の偏波モード分散補償器（ $\Delta \tau$  補償器 4 A）に対して、上記 2 つの偏波モード間の遅延量  $\Delta \tau$  を設定するための第 2 のパラメータ設定制御信号を出力するように構成されていることになる。

このような構成により、光伝送システム 1 0 B においても、検出形式 1 かつ制御態様 1 を用いた第 1 実施形態にかかる分散補償制御装置 1 が適用される光伝送システム 1 0 とほぼ同様の動作が行なわれる。

そして、分散補償制御装置 1 A によれば、前述した第 1 実施形態の場合と同様の利点を得られるほか、光送信機 2 B 内及び光受信器 7 B 内にそれぞれ設けられた  $\gamma$  補償器 4 B' 及び  $\Delta \tau$  補償器 4 A が独立に制御されているため、遅延量  $\Delta \tau$  と光強度分岐比  $\gamma$  の両方を適切に制御することができる。

### （B 3）第 1 実施形態の第 3 変形例の説明

図 2 2 は本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。この図

2 2 に示す光伝送システム 1 0 C も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{ Gb/s}$ ,  $10\text{ Gb/s}$  等) の光通信システムであるが、第 1 実施形態の第 2 変形例における光伝送システム 1 0 B と比して、受信側の電気段にて遅延量  $\Delta\tau$  の制御が行なわれる点が異なり、その他の点は光伝送システム 1 0 B とほぼ同様のものであり、検出形式 1 かつ制御態様 1 を用いた検出が行なわれる。

そして、この光伝送システム 1 0 C は、光送信機 2, 光伝送路 3, 光受信機 7 C, 分散補償制御装置 1 B をそなえて構成されている。また、分散補償制御装置 1 B は、バンドパスフィルタ (  $f e \text{ BPF}$  ) 1 2, 強度検出器 1 3, 偏波モード分散量検出部 1 4, パラメータ設定回路 2 1 5 をそなえて構成されている。

この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、本変形例では、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 1 B は、『偏波モード分散補償制御装置 1 B』を表す。

さらに、これら偏波モード分散量検出部 1 4 とパラメータ設定回路 2 1 5 とで、偏波モード分散制御部 9 0 c として機能している。ここで、このパラメータ設定回路 2 1 5 は、光軸調整器 ( 偏波制御部 ) 4 D の設定値を設定するための光軸設定回路 2 1 5 A と、 $\Delta\tau$  設定回路 1 5 A とを有する。

この光伝送システム 1 0 C における受信光信号の流れは、次のようになる。まず、光受信機 7 C 内の光軸調整器 4 D において、受信光の軸合わせが行なわれ、偏波ビームスプリッタ (  $PBS$  ) 1 7 において偏波モード成分が分離され、受光器 1 1 A, 1 1 B において、両モード成分が受光され電気信号に変換 (  $O/E$  変換 ) される。そして、可変遅延素子 1 8 において、両光路間に遅延差  $\Delta\tau$  が与えられた後、多重回路 1 9 に

より合波され、光受信部 6 において受光処理される。なお、この可変遅延素子 18 に関しては後述する。

ここで、多重回路 19 において合波された電気信号の一部は、分離されて分散補償制御装置 1B に入力され、バンドパスフィルタ 12、強度  
5 検出器 13 において  $f_e$  (Hz) 成分強度が検出され、偏波モード分散量検出部 14 において光伝送路 3 の偏波モード分散の状態が検出され、パラメータ設定回路 215 において偏波モード分散を補償するよう、 $f_e$  (Hz) 成分強度が最大となるように可変遅延素子 18 及び光軸調整器 4D が制御されるのである。

10 このようにしても、第 1 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置 1A と同様に、遅延量  $\Delta\tau$  を適切に制御することができる。

#### (B4) 第 1 実施形態の第 4 変形例の説明

また、受信側の電気段にて遅延量  $\Delta\tau$  の制御を行なう光伝送システムとしては、図 23 に示すようなものも考えられる。この場合の制御方法  
15 も、制御態様 1 が用いられているが、その方法は、若干異なる。また、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。

図 23 は本発明の第 1 実施形態の第 4 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。この光  
20 伝送システム 10D も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムであって、光送信機 2, 光伝送路 3, 光受信機 7D, 分散補償制御装置 1B をそなえて構成されている。

この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するもの  
25 として使用されているが、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 1B



は、『偏波モード分散補償制御装置 1 B』を表す。

この光受信機 7 D は、入力された伝送信号光を 3 方向に分岐させて電気段のみにて制御するものであって、 $X_1$  偏光子 2 0 A,  $X_2$  偏光子 2 0 B,  $X_3$  偏光子 2 0 C と、これらにそれぞれ接続されている受光器 1 1 C, 1 1 D, 1 1 E と、受光器 1 1 C に接続されている強度可変素子 2 1 A, 受光器 1 1 D に接続されている可変遅延素子 1 8 A, 受光器 1 1 E に接続されている可変遅延素子 1 8 B と、さらに、可変遅延素子 1 8 A, 1 8 B にそれぞれ接続されている強度可変素子 2 1 B, 2 1 C と、多重回路 1 9 と、光受信部 6 とをそなえて構成されている。

ここで、 $X_1$  偏光子 2 0 A,  $X_2$  偏光子 2 0 B,  $X_3$  偏光子 2 0 C のそれぞれは、光信号の偏光状態を表すストークスベクトル (Stokes vector) の 3 成分、すなわち、 $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  を抽出するものであり、受光器 1 1 C, 1 1 D, 1 1 E はそれぞれ、この光信号の成分を O/E 変換するものである。

また、可変遅延素子 1 8 A は、ストークスベクトル  $X_2$  に対応する遅延量  $\Delta \tau_2$  を与えるものであり、可変遅延素子 1 8 B は、ストークスベクトル  $X_3$  に対応する遅延量  $\Delta \tau_3$  を与えるものである。さらに、強度可変素子 2 1 A, 2 1 B, 2 1 C はそれぞれ、強度比  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  (ここで、 $P_1 + P_2 + P_3 = 1$  の関係が満たされている) を与えるものであり、強度可変素子 2 1 A は、ストークスベクトル  $X_1$  に対応する強度比  $P_1$  を、強度可変素子 2 1 B は、ストークスベクトル  $X_2$  に対応する強度比  $P_2$  を、また、強度可変素子 2 1 C は、ストークスベクトル  $X_3$  に対応する強度比  $P_3$  を、それぞれ与えるようになっている。そして、これら 5 種類のパラメータ ( $\Delta \tau_2$ ,  $\Delta \tau_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) は、 $f_e$  (Hz) 成分強度を最大にするために、適切に制御されるのである。なお、この強度比  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  は、偏波制御器を用いた光段

での補償器での $\lambda/4$ 板方位（回転）角 $\alpha$ 、 $\lambda/2$ 板方位（回転）角 $\beta$ に対応するパラメータである。さらに、多重回路19は、強度可変素子21A、21B、21Cの出力信号を多重するものであり、光受信部6は、受光処理を行なうものである。

- 5       また、分散補償制御装置1Bは、電気段にて $\Delta\tau$ 制御を行なうものであって、バンドパスフィルタ12、強度検出器13、偏波モード分散量検出部14、パラメータ設定回路215をそなえて構成されている。ここで、これら偏波モード分散量検出部14とパラメータ設定回路215とで、偏波モード分散制御部90cとして機能している。そして、パラ
- 10       メータ設定回路215内の $\Delta\tau$ 設定回路15Aは、制御信号を光受信機7D内の可変遅延素子18Aと可変遅延素子18Bとにそれぞれ入力するようになっており、また、パラメータ設定回路215内の強度設定回路215Bは、強度比を光受信機7D内の強度可変素子21A、21B、21Cにそれぞれ入力するようになっている。
- 15       さらに、P1、P2、P3の制御のアルゴリズムの一例としては、3つのうち2つずつを動かす方法である。すなわち、P3が固定のまま、 $P1 + P2$ が一定になるように、P1とP2を変化させて $f_e$ （Hz）成分強度を最大値制御し、次に、P1が固定のまま、 $P2 + P3$ が一定になるように、P2とP3を変化させて $f_e$ （Hz）成分強度を最大値
- 20       制御し、さらに、P2が固定のまま、 $P1 + P3$ が一定になるように、P1とP3を変化させて $f_e$ （Hz）成分強度を最大値制御していくというようにする。なお、これ以外の方法によっても制御方法が行なえることは言うまでもない。

- この光伝送システム10Dにおける受信光信号の流れは次のようになる。光伝送路3を介して入力された伝送信号光は、光受信機7D内にて、3分岐され、各偏光成分のみを透過させる各偏光子（X、偏光子20A、
- 25

X<sub>2</sub> 偏光子 20B 及び X<sub>3</sub> 偏光子 20C) を介してそれぞれ、各受光器 11C, 11D, 11E において受光され、電気信号に変換 (O/E 変換) される。そして、受光器 11D, 11E により受光された光成分はそれぞれ、可変遅延素子 18A, 18B により遅延量  $\Delta\tau_2$ ,  $\Delta\tau_3$  が与えられ、さらに、これら 2 系統の出力と、受光器 11C との出力との 3 つの光成分は、強度可変素子 21A, 21B, 21C により強度比調整がなされる。

この際、多重回路 19 により合波された電気信号の一部が分離されて分散補償制御装置 1B に入力され、第 1 実施形態の場合と同様に、バンドパスフィルタ 12, 強度検出器 13 により  $f_e$  (Hz) 成分強度が検出され、偏波モード分散量検出部 14 により光伝送路 3 の偏波モード分散の状態が検出される。さらに、パラメータ設定回路 215 により偏波モード分散を補償するように、可変遅延素子 18A, 18B 及び強度可変素子 21A, 21B, 21C が、 $f_e$  (Hz) 成分強度が最大となるように、制御されるのである。

なお、この図 23 では、可変遅延素子 18A, 18B 及び強度可変素子 21A, 21B, 21C の両方が制御されているが、受信側において十分な特性が得られる場合には、いずれか一方の素子のみで制御を行なうようにすることもできる。

このようにしても、第 1 実施形態の第 3 変形例にかかる分散補償制御装置 1B と同様の利点を得ることができる。

#### (B5) 第 1 実施形態の第 5 変形例の説明

図 24 は本発明の第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図であり、システム稼働前 (システム運用開始前) とシステム稼働中 (システム運用開始後) とで、制御対象を可変としうるものである。また、偏波モード分散

量の制御方法は、制御態様 1 であり、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。

- この図 2 4 に示す光伝送システム 4 0 も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{ Gb/s}$ ,  $10\text{ Gb/s}$  等) の光通信システムである。この光伝送システム 4 0 は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 2 2 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 2 7 とが光伝送路 (伝送ファイバ) 2 3 を介して接続されたものであり、また、光受信側に分散補償制御装置 3 9 とスイッチ切換部 3 8 とが設けられている。
- そして、光受信機 2 7 は、伝送される光信号に生じる偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散補償器 2 4 と、光分岐部 2 5 と、光受信部 2 6 とをそなえて構成されている。この偏波モード分散補償器 2 4 は、光伝送路 2 3 の状態に応じて、伝送光信号に生じた偏波モード分散をより効果的に補償するものであり、また、光分岐部 2 5 は、光伝送路 2 3 を介して受信側に入力される伝送光信号の一部を取り出して、モニタ光として分散補償制御装置 3 9 に送出するものであり、光受信部 2 6 は、伝送光信号を受信するものである。

- この分散補償制御装置 3 9 は、第 1 実施形態にかかる分散補償制御装置 1 と同様に、受光器 2 8, バンドパスフィルタ ( $f e \text{ BPF}$ ) 2 9, 強度検出器 3 0, 偏波モード分散量検出部 3 6 及びパラメータ設定回路 3 7 をそなえると同時に、偏波モード分散を補償する際のフィードバック制御を自動的に行なうべく補償量最適化制御部 3 1 と、システム稼働前/稼働中とで強度検出器 3 0 A の出力を切り換えるスイッチ 3 8 A と、このスイッチ 3 8 A に連動して動作するスイッチ 3 8 A' とをそなえて構成されている。

なお、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分

散』の意味で使用するごととし、分散補償制御装置 39 は、『偏波モード分散補償制御装置 39』を表す。

ここで、受光器 28, バンドパスフィルタ 29, 強度検出器 30 は、それぞれ第 1 実施形態における受光器 11, バンドパスフィルタ 12, 強度検出器 13 とそれぞれ同様のものであるので、更なる説明は省略する。さらに、偏波モード分散量検出部 36 とパラメータ設定回路 37 はそれぞれ、偏波モード分散量検出部 14 とパラメータ設定回路 15 と同様のものであり、これらは偏波モード分散制御部 90d として機能している。また、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。

また、スイッチ 38A は、この光伝送システム 40 の稼働前には、偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるために偏波モード分散量検出部 36 を駆動させ、また、稼働中はそのパラメータ情報の最適値の変動を防ぐために補償量最適化制御部 31 を駆動させるものである。ここで、強度検出器 30 からの出力を切り換えるようになっている。ここで、システム稼働前とは、光伝送システム 40 を立ち上げる時や、例えば偏波モード分散補償制御が最適点から大きく外れた場合に光伝送システム 40 を再立ち上げる時をいう。そして、この切り換え制御は、スイッチ切換部 38 によって行なわれている。そして、スイッチ 38A は、このスイッチ 38A に連動して、偏波モード分散量検出部 36 又は位相比較回路 33 の出力をパラメータ設定回路 37 へ入力するものである。

なお、ここでいう『稼働中はそのパラメータ情報の最適値の変動を防ぐために補償量最適化』する切り換え制御方法に関しては、後述する。

ここで、補償量最適化制御部 31 は、パラメータ設定回路 37 から出力されるパラメータ設定制御信号に、予め設定された所定の低周波信号

を重畳するとともに、強度検出器 30 からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 37 におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化するものであって、バンドパスフ  
5     ィルタ ( $f_0$  BPF) 32, 位相比較回路 33, 低周波発振器 34 及び低周波重畳回路 35 をそなえて構成されている。

まず、バンドパスフィルタ 32 は、強度検出器 30 にて検出された第 1 特定周波数成分 [ $f_e$  (Hz) 成分] の強度に含まれる低周波信号成分 [ $f_0$  (Hz) 成分] を抽出するものであり、位相比較回路 33 は、  
10     バンドパスフィルタ 32 にて抽出された低周波信号成分を低周波発生器 34 からの低周波信号と比較して位相のずれを検出するとともに、バンドパスフィルタ 32 にて抽出された低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 37 におけるパラメータ設定を制御するものである。

さらに、低周波重畳回路 35 は、パラメータ設定回路 37 から出力されるパラメータ設定制御信号に、低周波発振器 34 から入力される予め設定された所定の低周波信号 ( $f_0$  信号) を重畳することにより微小変調を与えて、変調されたパラメータ設定制御信号を偏波モード分散補償器 24 に送出するものである。

これにより、補償量最適化制御部 31 は、システム稼働前には、偏波モード分散量検出部 36 を駆動させて偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるとともに、システム稼働中は、光伝送路 23 の遅延量  $\Delta \tau$  を常に最適値に保つための制御を行なうのである。

システム稼働中の制御方法は、次のようになる。すなわち、補償量最適化制御部 31 は、光伝送路 23 を介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分の強度を極  
25     大値に自動的に固定するために、偏波モード分散補償器 24 で与える遅

延量 $\Delta\tau$ に低周波 $f_0$ で微小変調をして、光伝送路23の経時変化に対して、遅延量 $\Delta\tau$ を常に最適値に保つために、トラッキング制御を行っている。このトラッキング制御の一例として、偏波モード分散を補償する際のフィードバック制御を、遅延量 $\Delta\tau$ を極大点 $\Delta\tau_0$ の周辺で微小変化させて（ディザリングさせて）、新しい極大点を検出することによって、自動的に求めるようにしている。ここで、補償量最適化制御部31によるフィードバック制御の原理を図25（a）～（c）及び図26（a）～（g）を用いて説明する。

図25（a）は、偏波モード分散補償後の遅延量 $\Delta\tau$ （横軸）と $f_e$ （Hz）成分強度（縦軸）との関係を示すものであって、図25（b）に示すA、B、Cの3種類の低周波信号（例えば、1kHz程度の信号）が、遅延量 $\Delta\tau$ （横軸）に加えられたときの、 $f_e$ （Hz）成分強度の変化の様子〔図25（c）〕を模式的に描いたものである。この図25（b）に示す信号波形Bは、周波数 $f_0$ （Hz）で時間変化する、パラメータ情報が最適値である場合の波形であって、偏波モード分散補償後の遅延量 $\Delta\tau$ が最適値になり、 $f_e$ （Hz）成分強度が極大となるこの場合、図25（c）のように、 $f_e$ （Hz）成分強度は周波数 $2 \times f_0$ で時間変化する、周波数 $f_0$ （Hz）の成分は含まなくなる。

これに対して、パラメータ情報が最適値からずれた場合、すなわち、この図25（b）に示すBの状態からAやCのように遅延量 $\Delta\tau$ が最適値からずれた場合には、図25（c）のように、 $f_e$ （Hz）成分強度の時間変化には周波数 $f_0$ （Hz）成分が現れて、しかもAとCとではその成分の符号が逆になる（位相が反転する）。

従って、図24に戻って見てみると、バンドパスフィルタ32により $f_e$ （Hz）成分強度から周波数 $f_0$ （Hz）成分が検出され、パラメータ設定回路37により、その周波数 $f_0$ （Hz）成分がなくなる方向

に偏波モード分散補償器 24 で与える遅延量  $\Delta \tau$  が設定されるので、そのようなフィードバックをかければ、伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化することができる。なお、その変化の方向は、位相比較回路 33 にて検出された周波数  $f$ 。 (Hz) の成分の位相から判別することができる。

これらにより、光伝送システム 40 においては、光送信機 22 から送信された伝送速度  $B$  (b/s) の光信号は光伝送路 23 を介して光受信機 27 に伝送される。

この際、光伝送システム 40 においては、伝送される光信号に生じた偏波モード分散を補償すべく、光分岐部 25 により、光伝送路 23 を介して伝送される光信号の一部が取り出され、取り出された光信号 (モニタ光) が分散補償制御装置 39 に送出される。

そして、分散補償制御装置 39 においては、光分岐部 25 により取り出された光信号に基づいて光伝送路 23 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態がモニタされるとともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器 24 の制御が行なわれる。まず、光伝送システム 40 の稼働前には、偏波モード分散量検出部 36 を駆動すべく、スイッチ切換部 38 により、スイッチ 38A 及びスイッチ 38A' が切り換えられる (図 24 に示すような接点位置)。

そして、光分岐部 25 により取り出された光信号は受光器 28 により受光されて、電気信号に変換 (O/E 変換) された後に、バンドパスフィルタ 29 に入力される。このバンドパスフィルタ 29 では、第 1 実施形態にて説明したように、光信号の伝送速度や信号波形に応じて適宜設定された伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分 [ $f_e$  (Hz) 成分] が検出される (特定周波数成分検出ステップ)。



続いて、強度検出器 30 により、バンドパスフィルタ 29 にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度が検出される（強度検出ステップ）。さらに、偏波モード分散量検出部 36 により、強度検出器 30 にて検出された第 1 特定周波数成分の強度から、所定の第 1 関数演算〔すなわち、  
5 前述した式（2）、（3）を用いた関数演算〕を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量が検出される（分散量検出ステップ）。

そして、パラメータ設定回路 37 により、伝送光信号の偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散量検出部 36 にて検出された偏波モード分散量を相殺するようなパラメータ情報（遅延量  $\Delta \tau$ ）を設定するためのパラメータ設定制御信号が、補償量最適化制御部 31 の低周波重畳回路 35 を介して光受信機 27 内に設けられた偏波モード分散補償器 24 に対して出力される。なお、低周波重畳回路 35 では、パラメータ設定回路 37 からのパラメータ設定制御信号に低周波発振器 34 からの低周波信号（ $f_0$  信号）を重畳して出力している。

15 偏波モード分散補償器 24 では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 23 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。続いて、光伝送システム 40 の稼働中には、補償量最適化制御部 31 を駆動すべく、スイッチ切換部 38 によりスイッチ 38A 及びスイッチ 38A' が切り  
20 換えられる（図 24 に示すものとは逆の接点位置）。

そして、光分岐部 25 により取り出された光信号は、前述した場合と同様に、受光器 28、バンドパスフィルタ 29 及び強度検出器 30 を介して補償量最適化制御部 31 に入力される。補償量最適化制御部 31 においては、強度検出器 30 からの第 1 特定周波数成分の強度に含まれる  
25 低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 37 におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散

の補償量が最適化される。

このような構成によって、補償が行なわれるが、このときの分散補償制御装置 3 9 における動作を図 2 6 (a) ~ 図 2 6 (g) を用いてさらに説明する。ここで、図 2 6 (a) ~ (g) に示す信号波形は、図 2 4  
5 に示した分散補償制御装置 3 9 内で符号 (a) ~ (g) を付した各部での信号波形にそれぞれ対応している。なお、この図 2 6 (a) ~ 図 2 6 (g) に示す波形は、遅延量  $\Delta \tau$  が  $f_e$  (Hz) 成分強度の極大点から負の側にずれた場合（すなわち、図 2 5 の A の場合）について示している。

10 まず、伝送光信号の一部は、偏波モード分散補償器 2 4 の後段に設けられた光分岐部 2 5 において分岐され、受光器 2 8 において受光されてから、バンドパスフィルタ 2 9 において  $f_e$  (Hz) 成分が抽出される。図 2 4 に示すバンドパスフィルタ 2 9 の出力における (c) と付した部分の信号波形は、図 2 6 (c) に示すように、 $f_e$  (Hz) 成分が低周波  $f_o$  (Hz) で変化する包絡線を有する。そして、この信号は、強度  
15 検出器 3 0 により低周波  $f_o$  (Hz) の強度変調信号に変換されて、図 2 6 (d) に示すような波形となり、補償量最適化制御部 3 1 に入力される。

そして、補償量最適化制御部 3 1 内のバンドパスフィルタ 3 2 により、  
20 低周波  $f_o$  (Hz) の成分が抽出され、図 2 6 (e) に示すような波形が得られる。さらに位相比較回路 3 3 により、その成分と低周波発振器 3 4 からの  $f_o$  (Hz) 強度成分との位相比較が行なわれ、図 2 6 (g) に示すような位相差に応じた信号が得られる。なお、この場合、図 2 5 の A の場合には、(g) で示された信号強度は受信端（光受信部 2  
25 6）での遅延量  $\Delta \tau$  の増大に比例して増大する。

これとは逆に、遅延量  $\Delta \tau$  が  $f_e$  (Hz) 成分強度の極大点から正の

側にずれた場合（即ち、図 2 5 の C の場合）には、 $f_e$  (Hz) 成分強度は遅延量  $\Delta \tau$  の増大に伴って減少するので、図 2 6 (c) に示す低周波  $f_o$  (Hz) で変化する包絡線の位相は半周期 ( $1/2 f_o$ ) ずれた形になる。それに伴って、図 2 6 (d), 図 2 6 (e) で示す信号波形も時間的に半周期ずれ、結果として位相比較の結果得られる信号〔図 2 6 の (g) 参照〕の符号は反転する。

従って、パラメータ設定回路 3 7 では、位相比較回路 3 3 による位相比較の結果得られる信号の符号を検出することによって、遅延量  $\Delta \tau$  が正負のいずれの方向にずれているかが判別されるので、 $f_e$  (Hz) 成分中の  $f_o$  (Hz) 強度変調成分がなくなる方向に遅延量  $\Delta \tau$  を変化させるためのパラメータ設定制御信号が生成されて出力される。

そして、偏波モード分散補償器 2 4 では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 2 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。

このように、本発明の第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる分散補償制御装置 3 9 によれば、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分の強度を検出して、検出された第 1 特定周波数成分の強度から、所定の第 1 関数演算を行なって、伝送光信号の偏波モード分散量が検出されるので、伝送光信号に生じた偏波モード分散が簡便に検出される。

そして、このようにして偏波モード分散量が検出され、検出された偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号に生じた偏波モード分散を補償するためのパラメータ情報が設定されることにより、偏波モード分散を補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために寄与することができる。また、システム稼働中は、光伝送路 2 3 の経時変化に対して、遅延量  $\Delta \tau$  が常に最適値に保たれる

利点がある。

さらに、補償量最適化制御部 31 により、伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化することができるとともに、偏波モード分散を補償する際のフィードバック制御が自動的に行なわれる。

5 (B 6) 第 1 実施形態の第 6 変形例の説明

図 27 は本発明の第 1 実施形態の第 6 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図であり、システム稼働前とシステム稼働開始後とで、制御対象を可変としうるものである。また、偏波モード分散量の制御方法は、検出形式 1 かつ制御態様 1  
10 を同じく使用している。

この図 27 に示す光伝送システム 40A も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムである。また、この光伝送システム 40A は、第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる光伝送システム 40 と比して、偏波モード分散  
15 補償器 24 が光送信機 22A 内に設けられている点が異なり、その他の点は第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる光伝送システム 40 と同様のものである。

すなわち、この光伝送システム 40A は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 22A と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 27A とが光伝送路 (伝送ファイバ) 23 を介して接続  
20 されており、光送信機 22A に分散補償制御装置 39 が設けられている。なお、分散補償制御装置 39 を受信側に設置し、光受信機 27A にて検出された光信号の偏波状態の結果を、光送信機 22A にまで返送するような構成にすることもできる (図示省略)。その場合の返送方法は、例  
25 えば低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。なお、本変形例でも、この『分散』という単語を、

『偏波モード分散』の意味で使用することとし、分散補償制御装置 3 9 は、『偏波モード分散補償制御装置 3 9』を表す。

ここで、光送信機 2 2 A は、信号光源 4 1 及び光変調器 4 2 を有するとともに、伝送される光信号に生じる偏波モード分散を補償すべく偏波モード分散補償器 2 4 を有している。このように、偏波モード分散補償器 2 4 が送信側にあるときは、光強度分岐比  $\gamma$  の設定を行なうことが可能となる。

そして、光伝送路 2 3 と光受信機 2 7 A 間にある光分岐部 2 5 から参照用の光が取り出されて、分散補償制御装置 3 9 に入力されている。この分散補償制御装置 3 9 は、パラメータ設定回路 3 7 が、伝送光信号を送信する送信端装置に設けられた偏波モード分散補償器 2 4 に対して、前記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を低周波重畳回路 3 5 を介して出力するように構成されており、光信号の受信側（光受信機 2 7 A 側）で位相が比較されて得られた検出信号（位相比較回路 3 3 からの出力信号）が、光送信機 2 2 A 側にまで返送されるようになっている。また、この返送の方法は、例えば、低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。そして同様に、補償量最適化制御部 3 1 は、パラメータ設定回路 3 7 から出力されるパラメータ設定制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、強度検出器（第 1 強度検出部）3 0 からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 3 7 におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化するようになっている。

また、分散補償制御装置 3 9 内のスイッチ 3 8 A, 3 8 A' は、光伝送システム 4 0 A の稼働前には、偏波モード分散補償量を示すパラメー

タ情報の最適値を求めるために偏波モード分散量検出部 36 を駆動させ、また、稼働開始後はそのパラメータ情報の最適値の変動を防ぐために補償量最適化制御部 31 を駆動させるために、連動して動作するスイッチであって、この切り換え制御は、分散補償制御装置 39 外にあるスイッチ切換部 38 によって行なわれている。

なお、その他のもので、第 1 実施形態で使用された符号と同一のものは、同一なもの或いは第 1 実施形態にかかる光伝送システム 10 と同様な機能を有するものであるもので、更なる説明は省略する。

このような構成により、この光伝送システム 40 A においても、前述した第 1 実施形態の第 5 変形例にかかる分散補償制御装置 39 が適用される光伝送システム 40 とほぼ同様の動作が行なわれる。

偏波モード分散補償器 24 が送信端装置に設けられた場合においても、補償量最適化制御部 31 にて 2 つの偏波成分の遅延差  $\Delta \tau$  又は強度分岐比  $\gamma$  に低周波での微小変調を行なうことにより、伝送光信号の偏波モード分散の補償量が最適化される。

このように、第 1 実施形態の第 6 変形例にかかる分散補償制御装置 39 によれば、前述した第 1 実施形態の第 5 変形例の場合と同様の利点を得られるほか、光送信機 22 A 内に設けられた偏波モード分散補償器 24 を制御することにより、光伝送路 23 の状態に応じて光強度分岐比  $\gamma$  が最良の状態 ( $\gamma = 0$  又は  $1$ ) となるように偏波方向を制御することができ、伝送光信号に生じた偏波モード分散をより効果的に補償することができる。また、システム稼働中は、光伝送路 23 の経時変化に対して、遅延量  $\Delta \tau$  が常に最適値に保たれる利点がある。

(B7) 第 1 実施形態の第 7 変形例の説明

図 28 は本発明の第 1 実施形態の第 7 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図であり、システ

ム稼働前とシステム稼働開始後とで、制御対象を可変としようるものである。また、偏波モード分散量の制御方法は、検出形式 1 かつ制御態様 1 を同じく使用している。

この図 2 8 に示す光伝送システム 4 0 B も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{ Gb/s}$ ,  $10\text{ Gb/s}$  等) の光通信システムである。この光伝送システム 4 0 B は、第 1 実施形態の第 6 変形例における光伝送システム 4 0 A と比して、光送信機 2 2 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 2 4 A を構成する  $\Delta\tau$  補償器 2 4 A-1 及び  $\gamma$  補償器 2 4 A-2 を、それぞれ独立に制御する点が異なり、その他の点は第 1 実施形態の第 6 変形例にかかる光伝送システム 4 0 A とほぼ同様のものである。

すなわち、この光伝送システム 4 0 B は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 2 2 B と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 2 7 A とが光伝送路 (伝送ファイバ) 2 3 を介して接続されており、光送信機 2 2 B 側に分散補償制御装置 3 9 A とスイッチ切換部 3 8 が設けられている。なお、これら分散補償制御装置 3 9 A とスイッチ切換部 3 8 とを受信側に設置し、光受信機 2 7 A にて検出された光信号の偏波状態の結果を、光送信機 2 2 B にまで返送するような構成にすることもできる (図示省略)。その場合の返送方法は、例えば低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。また、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、分散補償制御装置 3 9 A は、『偏波モード分散補償制御装置 3 9 A』を表す。

ここで、光送信機 2 2 B は、信号光源 4 1 及び光変調器 4 2 を有するとともに、伝送される光信号に生じる偏波モード分散を補償すべく偏波モード分散補償器 2 4 A を有している。そしてこの偏波モード分散補償

器 2 4 A は、 $\Delta \tau$ のみならず  $\gamma$  を設定でき、 $\Delta \tau$  補償器 2 4 A - 1 と、 $\gamma$  補償器 2 4 A - 2 とを有し、それぞれ独立に制御できるようになっている。

5 また、光伝送路 2 3 と光受信機 2 7 A 間にある光分岐部 2 5 から参照用の光が取り出されて、分散補償制御装置 3 9 A に入力され、上記の偏波モード分散補償器 2 4 A 内の  $\Delta \tau$  補償器 2 4 A - 1 と、 $\gamma$  補償器 2 4 A - 2 とに制御信号が出力されるようになっている。

この分散補償制御装置 3 9 A は、受光器 2 8，バンドパスフィルタ ( f e B P F ) 2 9，強度検出器 3 0，スイッチ 3 8 A，偏波モード分散量検出部 3 6 をそなえるとともに、補償量最適化制御部 3 1 A と、パラメータ設定回路 3 7 とをそなえて構成されている。さらに、偏波モード分散量検出部 3 6 とパラメータ設定回路 3 7 とで、偏波モード分散制御部 9 0 d として機能している。これら、受光器 2 8，バンドパスフィルタ 2 9，強度検出器 3 0，スイッチ 3 8 A，偏波モード分散量検出部 3 6 は、前述したものと同様のもの或いは同一の機能を有するものであるので、更なる説明は省略する。

ここで、補償量最適化制御部 3 1 A は、 $\Delta \tau$  補償器 2 4 A - 1 及び  $\gamma$  補償器 2 4 A - 2 の制御を独立して行なうために、バンドパスフィルタ ( f <sub>1</sub> B P F ) 3 2 A，バンドパスフィルタ ( f <sub>2</sub> B P F ) 3 2 B，位相比較回路 3 3 A，3 3 B，低周波発振器 3 4 A，3 4 B 及び低周波重畳回路 3 5 A，3 5 B をそなえて構成されている。すなわち、分散補償制御装置 3 9 A は、各補償器 2 4 A - 1，2 4 A - 2 へのパラメータ設定制御信号に対して、それぞれ異なる周波数 f <sub>1</sub>，f <sub>2</sub> で微小変調を行なうように構成されているのである。なお、これらのものは、前述したものと同様の機能及び構成を有するものである。

換言すれば、補償量最適化制御部 3 1 A は、互いに異なる低周波成分



を有する2つの低周波信号( $f_1$ ,  $f_2$  信号)を、上記所定の低周波信号として上記パラメータ設定制御信号に重畳するように構成されるとともに、強度検出器30からの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記2つの低周波信号成分( $f_1$  (Hz),  $f_2$  (Hz) 信号成分)のうち  
5   の一方の低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路37における2つの偏波モードへの光強度の分岐比 $\gamma$ の設定を制御する一方、強度検出器30からの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記2つの低周波信号成分のうちの他方の低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路37における上記2つの偏波モード間の遅延量  
10  $\Delta\tau$ の設定を制御するように構成されている。

また、図28において、パラメータ設定回路37は、伝送光信号を送信する光送信機22Bに設けられた偏波モード分散補償器24Aに対して、前記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を低周波重畳回路35A, 35Bを介して出力するものであって、 $\Delta\tau$ を設定  
15   する $\Delta\tau$ 設定回路37Aと、 $\gamma$ を設定する $\gamma$ 設定回路37Bとを有する。そして、このパラメータ設定回路37は、光信号の受信側(光受信機27A側)で位相が比較されて得られた検出信号(位相比較回路33A及び位相比較回路33Bからの出力信号)が、光送信機22A側にまで返送されるようになっている。なお、低周波重畳回路35A, 35B  
20   では、パラメータ設定回路37の各設定回路37A, 37Bからのパラメータ設定制御信号に低周波発振器34A, 34Bからの低周波信号( $f_1$ ,  $f_2$  信号)をそれぞれ重畳して出力している。

このような構成により、光伝送システム40Bにおいても、前述した第1実施形態の第5変形例にかかる分散補償制御装置39が適用される  
25   光伝送システム40Aとほぼ同様の動作が行なわれる。

すなわち、光伝送システム40Bの稼働前には、分散補償制御装置3

9 Aにおいては、光分岐部 2 5 により取り出された光信号は、前述した場合と同様に、受光器 2 8, バンドパスフィルタ 2 9 及び強度検出器 3 0 を介して偏波モード分散量検出部 3 6 に入力される。

5 偏波モード分散量検出部 3 6 では、伝送光信号の偏波モード分散量が検出され、パラメータ設定回路 3 7 の各設定回路 3 7 A, 3 7 B からは、この検出結果に基づいたパラメータ設定制御信号が、それぞれ補償量最適化制御部 3 1 A の低周波重畳回路 3 5 A, 3 5 B を介して光送信機 2 2 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 2 4 A の各補償器 2 4 A-1, 2 4 A-2 に対して出力される。

10 そして、偏波モード分散補償器 2 4 A では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 2 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。

一方、光伝送システム 4 0 B の稼働中には、分散補償制御装置 3 9 A においては、光分岐部 2 5 により取り出された光信号は、前述した場合  
15 と同様に、受光器 2 8, バンドパスフィルタ 2 9 及び強度検出器 3 0 を介して補償量最適化制御部 3 1 A に入力される。

補償量最適化制御部 3 1 A においては、強度検出器 3 0 からの第 1 特定周波数成分の強度に含まれる低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 3 7 の各設定回路 3 7 A, 3 7 B におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量が  
20 最適化される。

つまり、強度検出器 3 0 からの  $f_e$  (Hz) 成分強度信号を分岐して、異なる周波数  $f_1$ ,  $f_2$  (Hz) のバンドパスフィルタ 3 2 A, 3 2 B により低周波  $f_1$ ,  $f_2$  (Hz) 成分がそれぞれ抽出され、これら低周波成分と低周波発振器 3 4 A, 3 4 B からの  $f_1$ ,  $f_2$  (Hz) 成分との位相比較が位相比較回路 3 3 A, 3 3 B によりそれぞれ行なわれる。  
25

そして、パラメータ設定回路 37 の各設定回路 37 A, 37 B では、前述したように、位相比較回路 33 A, 33 B による位相比較の結果得られる信号の符号を検出することによって、遅延量  $\Delta \tau$  又は光強度分岐比  $\gamma$  が正負のいずれの方向にずれているかが判別され、 $f_e$  (Hz) 成分  
5 中の  $f_1$ ,  $f_2$  (Hz) 強度変調成分がなくなる方向に遅延量  $\Delta \tau$  又は光強度分岐比  $\gamma$  を変化させるためのパラメータ設定制御信号が生成されて出力される。

そして、偏波モード分散補償器 24 A の各補償器 24 A-1, 24 A-2 では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 23 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。  
10

このように、本発明の第 1 実施形態の第 7 変形例にかかる分散補償制御装置 39 A によれば、前述した第 1 実施形態の第 6 変形例の場合と同様の利点が得られるほか、光送信機 22 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 24 A の各補償器 24 A-1, 24 A-2 をそれぞれ独立に制御することにより、遅延量  $\Delta \tau$  と光強度分岐比  $\gamma$  の両方を適切に制御できる利点がある。  
15

#### (B 8) 第 1 実施形態の第 8 変形例の説明

光送信機 22 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 24 A の各補償器 24 A-1, 24 A-2 をそれぞれ独立に制御する光伝送システムとしては、図 29 に示すようなものも考えられる。  
20

ここで、図 29 は本発明の第 1 実施形態の第 8 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図でありシステム稼働前とシステム稼働後とで、制御対象を可変としようるものである。また、偏波モード分散量の制御方法は、検出形式 1 かつ制御態様 1 を同じく使用している。  
25

- この光伝送システム 40 C も、時分割多重方式を採用した伝送速度 B (b/s) (例えば 40 Gb/s, 10 Gb/s 等) の光通信システムである。すなわち、この光伝送システム 40 C は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 22 B と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 27 A とが光伝送路 (伝送ファイバ) 23 を介して接続されており、光送信側に分散補償制御装置 39 B, スイッチ切換部 38, スイッチ 38 D, 38 E が設けられている。そして、光伝送路 23 と光受信機 27 A 間にある光分岐部 25 から参照用の光が取り出されて、分散補償制御装置 39 B に入力され、偏波モード分散補償器 24 A 内の  $\Delta\tau$  補償器 24 A-1 と、 $\gamma$  補償器 24 A-2 とに、スイッチ 38 D, 38 E を介して、制御信号が出力されるようになっている。なお、これら分散補償制御装置 39 B とスイッチ切換部 38 とを受信側に設置し、光受信機 27 A にて検出された光信号の偏波状態の結果を、光送信機 22 B にまで返送するような構成にすることもできる (図示省略)。
- その場合の返送方法は、例えば低速の別回線を用意する方法や逆方向の伝送光信号に情報を乗せる方法が使用されうる。また、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用することとし、分散補償制御装置 39 B は、『偏波モード分散補償制御装置 39 B』を表す。
- ここで、分散補償制御装置 39 B は、受光器 28, バンドパスフィルタ (f e BPF) 29, 強度検出器 30, スイッチ 38 A, 偏波モード分散量検出部 36 をそなえるとともに、補償量最適化制御部 31 B と、パラメータ設定回路 37 とをそなえて構成されている。さらに、偏波モード分散量検出部 36 とパラメータ設定回路 37 とで、偏波モード分散制御部 90 d として機能している。なお、これら、受光器 28, バンドパスフィルタ (f e BPF) 29, 強度検出器 30, スイッチ 38 A,

偏波モード分散量検出部 3 6 は、前述したものと同様のもの或いは同一の機能を有するものであるので、更なる説明は省略する。

補償量最適化制御部 3 1 B は、図 2 9 に示すように、バンドパスフィルタ ( $f_0$  BPF) 3 2, 位相比較回路 3 3, 低周波発振器 3 4, 低周波重畳回路 3 5 A, 3 5 B,  $\Delta\tau$  保持回路 4 3,  $\gamma$  保持回路 4 4 及びスイッチ 3 8 B, 3 8 C (位相比較回路 3 3 の出力側) をそなえて構成されている。

ここで、スイッチ 3 8 B, 3 8 C は、光強度分岐比  $\gamma$  の設定制御及び遅延量  $\Delta\tau$  の設定制御を時間的に切り換えるものであり、スイッチ切換部 3 8 から出力される制御信号によって、連動してスイッチ端子 “A” 或いはスイッチ端子 “B” に切り換わるようになっている。すなわち、スイッチ切換部 3 8 からの制御信号がスイッチ端子 “A” 用のときは、位相比較回路 3 3 の出力は、 $\gamma$  設定回路 3 7 B に入力されるとともに、低周波発振器 3 4 の出力は、低周波重畳回路 3 5 B に入力され、 $\gamma$  の値が制御されるようになっている。これに対して、スイッチ切換部 3 8 からの制御信号がスイッチ端子 “B” 用のときは、位相比較回路 3 3 の出力は、 $\Delta\tau$  設定回路 3 7 A に入力されるとともに、低周波発振器 3 4 の出力は、低周波重畳回路 3 5 A に入力され、 $\Delta\tau$  の値が制御されるようになっている。また、パラメータ設定回路 3 7 は、 $\Delta\tau$  を設定する  $\Delta\tau$  設定回路 3 7 A と、 $\gamma$  を設定する  $\gamma$  設定回路 3 7 B とを有する。

また、 $\Delta\tau$  保持回路 4 3 は、切り換え前の遅延量  $\Delta\tau$  の値を保持し、光強度分岐比  $\gamma$  の設定制御を行なっているときにこの遅延量  $\Delta\tau$  の値を出力するものであり、 $\gamma$  保持回路 4 4 は、切り換え前の光強度分岐比  $\gamma$  の値を保持し、遅延量  $\Delta\tau$  の設定制御を行なっているときにこの光強度分岐比  $\gamma$  の値を出力するものである。

さらに、スイッチ 3 8 D は、スイッチ切換部 3 8 から制御信号が入力

されて、 $\Delta \tau$  保持回路 4 3 の出力と低周波重畳回路 3 5 A との出力を選択して切り換えて、 $\Delta \tau$  補償器 2 4 A - 1 へと入力するものである。また、スイッチ 3 8 E も同様に、スイッチ切換部 3 8 から制御信号が入力されて、 $\gamma$  保持回路 4 4 の出力と低周波重畳回路 3 5 B との出力を選択して切り換えて、 $\gamma$  補償器 2 4 A - 2 へと入力するものである。

なお、前述したものと同一の符号を付したものは、前述した各変形例におけるものと同様の機能及び構成を有するものである。

ここで、本変形例の制御方法は次のようになる。すなわち、制御態様 1 によって、検出が行なわれた値から適切な補償量が求まり、その補償量になるように、偏波モード分散補償器 2 4 A の各補償器 2 4 A - 1, 2 4 A - 2 の調整が、時間的に切り換わって交互に行なわれるようになっている。

すなわち、所定の時間には遅延差  $\Delta \tau$  に低周波での微小変調が行なわれ、また所定の時間には強度分岐比  $\gamma$  に低周波での微小変調が行なわれる、という 2 つが交互に行なわれる。具体的には、図 2 9 に示すスイッチ切換部 3 8 により、複数のスイッチ 3 8 B, 3 8 C を連動させ、スイッチ端子 “A” とスイッチ端子 “B” とが、一定の時間間隔で切り換えられる。このとき、制御が行なわれていない各補償器 2 4 A - 1, 2 4 A - 2 の制御点は、 $\Delta \tau$  保持回路 4 3 又は  $\gamma$  保持回路 4 4 により切り換える前の位置に保持される。このように時間的に交互に行なわれる理由は、偏波モード分散補償器 2 4 A が偏波モード分散を補償するための動作を行なっても、実際に光伝送路 2 3 の偏波モード分散状態に変化が現れるまでには、数分から数時間程度の時間がかかるためである。

すなわち、第 8 変形例にかかる分散補償制御装置 3 9 B の補償量最適化制御部 3 1 B は、2 つの偏波モードへの光強度の分岐比  $\gamma$  の設定制御及び 2 つの偏波モード間の遅延量  $\Delta \tau$  の設定制御を、時間的に切り換え

て行なうように構成されている。

また、これにより、各補償器 2 4 A - 1, 2 4 A - 2 の制御が独立に行なわれるようになっている。

5       このような構成により、この光伝送システム 4 0 C においても、前述した第 1 実施形態にかかる分散補償制御装置 3 9 が適用される光伝送システム 4 0 とほぼ同様の動作が行なわれる。

すなわち、システム稼働前には、スイッチ切換部 3 8 は、強度検出器 3 0 の出力信号を偏波モード分散量検出部 3 6 にスイッチして、偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるようにする。

10       一方、システム稼働中はスイッチ切換部 3 8 は、強度検出器 3 0 の出力信号をバンドパスフィルタ 3 2 にスイッチして、そのパラメータ情報の最適値の変動を防ぐために補償量最適化制御部 3 1 B を駆動させるのである。

そして、スイッチ切換部 3 8 は、複数のスイッチ 3 8 B, 3 8 C を一定の時間間隔で切り換えて、光送信機 2 2 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 2 4 A の各補償器 2 4 A - 1, 2 4 A - 2 は、それぞれ時間毎に交互に、2 つの偏波成分の遅延差  $\Delta \tau$  又は強度分岐比  $\gamma$  に低周波での微小変調が行なわれる。

20       このように、本発明の第 1 実施形態の第 8 変形例にかかる分散補償制御装置 3 9 B によれば、前述した第 1 実施形態の第 6 変形例の場合と同様の利点が得られるほか、光送信機 2 2 B 内に設けられた偏波モード分散補償器 2 4 A の各補償器 2 4 A - 1, 2 4 A - 2 の制御を時間的に切り換えて行なうことにより、同時に制御を行なう場合に比べて制御の負荷が軽くなる利点がある。

25       (B 9) 第 1 実施形態の第 9 変形例の説明

図 3 0 は本発明の第 1 実施形態の第 9 変形例における光伝送システム

の構成を示すブロック図であり、偏波モード分散量の制御方法は、検出形式 1 かつ制御態様 1 を使用している。

この図 30 に示す光伝送システム 50 も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{Gb/s}$ ,  $10\text{Gb/s}$  等) の光通信システムである。この光伝送システム 50 は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 52 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 57 とが光伝送路 (伝送ファイバ) 53 を介して接続されたものであり、受信側の光分岐部 55 にて信号光が分岐されて、一方が光受信機 57 に入力されるとともに、他方が分散量検出装置 51 に入力されている。この分散量検出装置 51 に関しては、後述する。なお、本変形例でも、この『分散量検出』という単語を、『偏波モード分散検出』の意味で使用するごととし、分散量検出装置 51 は、『偏波モード分散量検出装置 51』を表す。

さらに、この光伝送システム 50 には、光送信機 52 内に、信号光源 62, 光変調器 63 が設けられるとともに、伝送される光信号に擬似的に偏波モード分散を与えるための偏波モード分散補償器 54 が設けられている。ここで、偏波モード分散補償器 54 は送信側にあるので、光強度分岐比  $\gamma$  の設定を行なうことが可能である。

また、光送信側に掃引制御部 56 が設けられている。この掃引制御部 56 は、光伝送システム 50 の稼働前 (すなわち、光伝送システム 50 を立ち上げる時や、例えば偏波モード分散補償制御が最適点から大きく外れた場合に光伝送システム 50 を再立ち上げる時) に、偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるべく、偏波モード分散補償器 54 で擬似的に与える上記偏波モード分散量を示すパラメータを大きく掃引制御するものである。すなわち、システム立ち上げ時又はシステム再立ち上げ時に、偏波モード分散補償器 54 で与える上記偏波



モード分散量を示すパラメータを大きく掃引制御する掃引制御部 5 6 を  
そなえて構成していることになる。

また、この光伝送システム 5 0 には、光受信機 5 7 内に分散量検出装  
置 5 1 が設けられている。この分散量検出装置 5 1 は、光分岐部 5 5 に  
5 より取り出された光信号に基づいて光伝送路 5 3 を伝送する光信号に生  
じた偏波モード分散の状態をモニタするものであり、図 3 0 に示すよう  
に、受光器 5 8, バンドパスフィルタ ( f e B P F ) 5 9, 強度検出  
器 6 0 及び偏波モード分散量検出部 6 1 をそなえて構成されている。な  
お、これらの各部は、前述した第 1 実施形態におけるものと同様の機能  
10 及び構成を有するものである。

これにより、光伝送システム 5 0 においては、光送信機 5 2 から送信  
された伝送速度  $B$  (  $b/s$  ) の光信号は光伝送路 5 3 を介して光受信機  
5 7 に伝送される。この際、光送信機 5 2 では、掃引制御部 5 6 の制御  
を受けて、偏波モード分散補償器 5 4 により光信号に偏波モード分散が  
15 擬似的に与えられる。

続いて、光分岐部 5 5 により、光伝送路 5 3 を介して伝送される光信  
号の一部が取り出され、取り出された光信号 ( モニタ光 ) が分散量検出  
装置 5 1 に送出される。そして、分散量検出装置 5 1 においては、光分  
岐部 5 5 により取り出された光信号に基づいて光伝送路 5 3 を伝送する  
20 光信号に生じた偏波モード分散の状態がモニタされる。

このような構成によって、システム稼働前に掃引制御が行なわれる。  
まず、図 3 0 に示す掃引制御部 5 6 により、偏波モード分散補償器 5 4  
で光信号に与える偏波モード分散量を示すパラメータ ( 遅延量  $\Delta \tau$  又は  
光強度分岐比  $\gamma$  のうちの少なくとも一方 ) が広範囲で掃引制御される。  
25 例えば、遅延量  $\Delta \tau$  は  $\Delta \tau_1$  から  $\Delta \tau_2$  までの範囲で掃引され、また、  
光強度分岐比  $\gamma$  は 0 から 1 までの範囲で掃引される。

そして、分散量検出装置 5 1 においては、受光器 5 8、バンドパスフ  
ィルタ 5 9、強度検出器 6 0 により、上記擬似的に偏波モード分散が与  
えられた光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成  
分〔 $f_e$  (Hz) 成分〕の強度が検出され、偏波モード分散量検出部 6  
5 1 により前述と同様に伝送光信号の偏波モード分散量が検出される。

ここで、この光伝送システム 5 0 の稼働前の掃引制御を、図 3 1 (a), (b) を用いて説明する。遅延量  $\Delta \tau$  を  $\Delta \tau_1$  から  $\Delta \tau_2$  までの  
範囲で掃引したときの第 1 特定周波数成分の強度の変化を図 3 1 (a)  
に示し、光強度分岐比  $\gamma$  を 0 から 1 までの範囲で掃引したときの第 1 特  
10 定周波数成分の強度の変化を図 3 1 (b) に示す。これら図 3 1 (a),  
図 3 1 (b) より、遅延量  $\Delta \tau_0$  又は光強度分岐比  $\gamma_0$  のときに、第 1  
特定周波数成分強度が極大となることがわかる。

従って、偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値として、  
遅延量  $\Delta \tau_0$  又は光強度分岐比  $\gamma_0$  が求められ、偏波モード分散補償器  
15 5 4 の動作点が遅延量  $\Delta \tau = \Delta \tau_0$  又は光強度分岐比  $\gamma = \gamma_0$  となるよ  
うに設定され、光伝送システム 5 0 の稼働が開始される。

なお、光伝送システム 5 0 の稼働中は、光伝送路 5 3 の経時変化に対  
して、遅延量  $\Delta \tau$  又は光強度分岐比  $\gamma$  を常に最適値に保つために、トラ  
ッキング制御を行なってもよい。そのトラッキング制御の 1 例としては、  
20 前述した第 1 実施形態の第 5 変形例にて説明したような、偏波モード分  
散を補償する際のフィードバック制御を自動的に行なう方法を用いるこ  
とができる。そして、図 3 1 (a), 図 3 1 (b) に示すように、遅延  
量  $\Delta \tau$  又は光強度分岐比  $\gamma$  を極大点  $\Delta \tau_0$  又は  $\gamma_0$  の周辺で微小変化さ  
せて（ディザリングさせて）、新しい極大点を検出すればよい。

25 このように、本発明の第 1 実施形態の第 9 変形例における分散量検出  
装置によれば、光伝送システム 5 0 の稼働前に、掃引制御部 5 6 により、

偏波モード分散補償器 5 4 で擬似的に与える上記偏波モード分散量を示すパラメータを大きく掃引制御することにより、偏波モード分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めることができる。

5      なお、図 3 0 に示す光伝送システム 5 0 においては、偏波モード分散補償器 5 4 が光送信機 5 2 に設けられているが、偏波モード分散補償器 5 4 を、光受信機 5 7 や線型中継器等（図示せず）のような他の位置に設けて、同様の制御を行なってもよい。

### （C）本発明の第 2 実施形態の説明

10      上記の第 1 実施形態及びその各変形例にける偏波モード分散量の制御方法は、第 1 関数を使用した制御態様（制御態様 1）であった。この方法を他の方法で行なうことができる。

15      図 3 2 は本発明の第 2 実施形態にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図（後述する第 2 実施形態の第 1 変形例においても同一構成がとられる）である。この図 3 2 に示す光伝送システム 2 1 0 C も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ )（例えば  $10\text{ Gb/s}$  等）の光通信システムである。この光伝送システム 2 1 0 C は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 2 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 2 0 7 a とが光伝送路（伝送ファイバ）3 を介して接続されたものであり、受信側に分散補償制御装置 2 2 5 が設けられている。なお、この『分散』という  
20      単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、第 2 実施形態でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するとし、さらに、この図 3 2 では、『偏波モード分散補償制御装置 2 2 5』は、『PMD 補償制御部』と表記されている。  
25      る。

この光受信機 2 0 7 a は、偏波制御器 4 B と、可変偏波モード間遅延

器 2 2 7 と、光分岐部 5 と、光受信部 6 とをそなえて構成されている。  
これら光分岐部 5 及び光受信部 6 は、前述したものと同一の機能を有する  
ものなので、更なる説明を省略する。また、可変偏波モード間遅延器  
2 2 7 は、各偏波モード間に遅延差  $\Delta \tau_c$  を与えて偏波モード分散補償  
5 (Polarization-Mode Dispersion compensation) する可変のものであつて、  
これら偏波制御器 4 B と可変偏波モード間遅延器 2 2 7 とを拡大した  
ものを、図 3 3 に示す。

この図 3 3 に示す偏波制御器 4 B は、受信した光信号をファイバに入  
力するときの軸合わせに用いられるものであり、偏波制御器の波長板  
10 (1/4 波長板 ( $\lambda/4$  板) 4 B-1 1 及び 1/2 波長板 ( $\lambda/2$  板) 4 B-1 2) を有し、  
これらが外部から駆動できるようになっている。そして、これらの各波長板  
4 B-1 1, 4 B-1 2 も、外部からのパラメータ設定制御信号を受けたアクチュエータ  
4 B-1 3, 4 B-1 4 により駆動されるようになっている。

15 光強度は、2 種類の偏波モード成分  $\alpha$ ,  $\beta$  (ラジアン) に分解できる。  
この第 2 実施形態では、可変偏波モード間遅延器 2 2 7 の可変性を利用して、  
これら  $\alpha$ ,  $\beta$  の各偏波モード成分が直接動的 (Dynamic) に制御されるよう  
になっている。そして、 $\alpha$  制御は、1/4 波長板 4 B-1 1 にて行なわれ、 $\beta$  制御は、  
1/2 波長板 4 B-1 2 にて行なわれるよう  
20 になっている。換言すれば、第 1 実施形態では、光強度分岐比  $\gamma$  による  
関数演算を行っており、光強度のいわば、静的 (Static) な側面を使用  
していた。これに対して、本実施形態では、光強度のいわば、動的 (Dynamic)  
な側面を使用し、偏波角度の調整による制御を行なうようにしている  
のである。

25 次に、本実施形態の制御方法について説明する。この方法は、分散補  
償制御装置 2 2 5 が、強度検出器 1 3 で検出された第 1 特定周波数成分

の強度が極大となるように、光伝送路 3 中に設けられた偏波制御器 4 B  
及び可変偏波モード間遅延器 2 2 7 のうちの少なくとも一方をフィード  
バック制御する態様で行なわれる。すなわち、第 1 実施形態のように関  
数を使って、制御量を決定するのではなく、検出された特定の周波数の  
5 強度が極大となるように、フィードバックして制御量を決定するよう  
になっている。この制御態様を以降の説明で、制御態様 1（第 1 関数を使  
用した制御）と区別するために、制御態様 2 と称することとする。

またこれから、偏波モード分散制御の方法は、 $\gamma$  と  $\Delta \tau$  との 2 変数か  
ら第 1 関数演算を行なう方法と、 $\alpha$ 、 $\beta$  及び  $\Delta \tau$  のうち少なくとも一方  
10 の変数を最大値制御をする方法とがあることになる。

この制御態様 2 による動的な制御が行なえるように、図 3 3 に示す可  
変偏波モード間遅延器 2 2 7 は、偏光ビームスプリッタ (PBS) 2 2  
7 a、2 2 7 d と、光アッテネータ 2 2 7 b とをそなえて構成されてい  
る。すなわち、この可変偏波モード間遅延器 2 2 7 は、偏光ビームスプ  
15 リッタ 2 2 7 a によって各偏波モード成分を分離して、可変光遅延器 2  
2 7 c によって各偏波モード成分間に遅延差を与えた後に合波するデバ  
イスとして構成されている。そして、一方の成分は、光ファイバ 2 2 9  
a を介して可変光遅延器 2 2 7 c にて遅延を受けて光ファイバ 2 2 9 b  
に出力され、また、他方の成分は光アッテネータ 2 2 7 b にて、両光路  
20 の光損失が等しくなるように損失を受け、さらにそれらは偏光ビームス  
プリッタ 2 2 7 d において、直交状態のまま合波されて、出力されるよ  
うになっている。

このように、可変偏波モード間遅延器 2 2 7 を用いて制御することで、  
固定偏波モード間遅延器を用いる場合に比べ、ペナルティをより小さく  
25 できるのみならず、ビットレート・伝送距離・信号変調フォーマット等  
の切り換えによる伝送路の偏波モード分散量の変動に対処できる利点が

ある。また、可変光遅延素子で与える遅延差は、外部からの制御信号によって変化させることができるようになる。

図 3 4 (a) ~ (c) に本発明の第 2 実施形態にかかる可変光遅延路の例を示す。これらの可変光遅延路は、可変光遅延器 2 2 7 c として機能するものであって、光信号は一旦空中に取り出され、遅延差を与えられてから再びファイバに戻すような方法を用いている。また、光ファイバ 2 2 9 a, 2 2 9 b は、図 3 3 の可変光遅延器 2 2 7 c の入出力にある光ファイバに相当する。図 3 4 (a) は反射鏡 2 2 8 c を用いる方法、図 3 4 (b) はコーナーキューブ 2 2 8 d を用いる方法、図 3 4 (c) はファイバ 2 2 9 b を移動する方法等を用いる方法である。なお、各図中で、符号 2 2 8 a, 2 2 8 b は、コリメートレンズである。

さらに、図 3 5 に、本発明の第 2 実施形態にかかる他の可変偏波モード間遅延素子の構成例を示す。この図 3 5 に示す偏波モード間遅延素子 2 3 0 は、偏波モード分散値の異なる複数の偏波保持ファイバ (PMF) 2 3 0 c<sub>1</sub>, 2 3 0 c<sub>2</sub>, 2 3 0 c<sub>3</sub> ... が並列に配置され、入力側と、出力側にそれぞれ光スイッチ 2 3 0 a, 2 3 0 b がそれぞれ設けられている。これらの光スイッチ 2 3 0 a (又は 2 3 0 b) は、外部からの制御信号によって、入力光信号を該当する PMF 2 3 0 c<sub>1</sub>, 2 3 0 c<sub>2</sub>, 2 3 0 c<sub>3</sub> ... に導くのである。そして、各 PMF 2 3 0 c<sub>1</sub>, 2 3 0 c<sub>2</sub>, 2 3 0 c<sub>3</sub> ... は、偏波モード分散値  $\Delta \tau_1$ ,  $\Delta \tau_2$ ,  $\Delta \tau_3$  ... を有し、 $\Delta \tau_1 < \Delta \tau_2 < \Delta \tau_3$  ... となっている。さらに、入力光信号の偏波分散量に従って入力される制御信号により、その値に近い PMF が選択されるようになっている。なお、偏波分散の可変量や可変精度を上げるためには、その分多くの PMF を用意してやればよい。すなわち、偏波モード間遅延素子 (偏波モード間遅延器) 2 3 0 は、偏波分散値の異なる複数の偏波保持ファイバを並列に配置し、光伝送路 3 の偏波モード

分散量に従って、光信号を透過させる偏波保持ファイバを光スイッチ 230a（又は230b）で切り換えるデバイスとして構成されていることになり、また、偏波モード間遅延器230が、偏波保持ファイバで構成されていることになる。さらに、偏波モード間遅延器230は、遅延量を固定した状態の可変偏波モード間遅延器で構成されていることになる。

再度図32に戻って、この図32に示す分散補償制御装置225は、第1実施形態の分散補償制御装置1（1A，1B，39，39A，39B等）に対応する分散補償制御装置であって、受光器11，バンドパスフィルタ12，強度検出器13， $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路226をそなえて構成されている。ここで、受光器11，バンドパスフィルタ12，強度検出器13は、前述したものと同一の機能を有するものなので、更なる説明を省略する。

また、 $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路226は、強度検出器13から入力される信号から適当な制御を行なって、光受信機207a内にある偏波制御器4Bを制御するものであって、この偏波モード制御機能は、CPU等によって発揮される。

これらにより、信号の流れは次のようになる。すなわち、光送信機2から送信されたB（b/s）の光信号は、光伝送路3における、 $\Delta \tau_F$ （ps/km<sup>1/2</sup>）の偏波モード分散によって波形劣化を受けて、光受信機207aへと入力される。そして、光受信機207a内の偏波制御器4Bにおいて、1/4波長板4B-11及び1/2波長板4B-12により、光信号は軸合わせが行なわれるとともに、各偏波モード間に遅延差 $\Delta \tau_c$ が与えられ、かつ $\Delta \tau_c$ を可変できる可変偏波モード間遅延器227を用いて偏波モード分散補償される。そして、補償された光信号の一部は、光分岐部5において分岐され、一方は、分散補償制御装置

2 2 5 内の受光器 1 1 にて O / E 変換されてから、バンドパスフィルタ 1 2 において、 $f_e$  (Hz) の周波数成分が抽出されて、強度検出器 1 3 において強度検出される。また、他方は、光受信部 6 へと入力される。

この強度検出においては、ビットレートの半分の  $f_e = B / 2$  (Hz) の成分強度が選択されており、この強度が最大になるように、 $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路 2 2 6 によって、 $\lambda / 4$  板の方位角  $\alpha$ 、 $\lambda / 2$  板の方位角  $\beta$  及び  $\Delta \tau$  の 3 つのパラメータが制御される。なお、ここでは、受信端にこれらの偏波分散補償デバイスを配置しているが、送信端または光中継器に配置し、受信端での偏波モード分散量を検出して、偏波分散補償デバイスをフィードバック制御するようにしてもよい。また、 $f_e = B / 2$  (Hz) 成分強度を用いる方式は、NRZ 波形のみならず、RZ 波形や OTDM 波形にも適用できる。

このように、本実施形態では、可変の偏波モード間遅延素子を用いているので、偏波モード分散による波形劣化がより小さくなり、また、ビットレート、伝送距離、信号変調フォーマット等の切り換えによる伝送路の偏波モード分散量の変動に対処できるという利点がある。なお、固定偏波モード間遅延素子を用いる場合には、その固定遅延量の設計に関してシステム条件を考慮した基準を与えてやればよい。

#### (C 1) 第 2 実施形態の第 1 変形例の説明

第 2 実施形態において、システム運用開始前（システム稼働前或いは初期値を設定するモードと称することがある）と、システム運用中（システム稼働中或いは通常使用モードと称することがある）との切り換え機能をもたせることができる。図 3 2 と同一の構成において、初期設定モードの制御方法は、制御態様 2 によって、偏波モード分散補償が行なわれている。なお、強度検出に供される周波数は 1 系統なので、検出形式 1 をとっていることになる。また、本変形例でも、この『分散』とい



う単語を、『偏波モード分散』の意味で使用する事とする。

- その方法は、 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ 板および可変偏波モード間遅延素子で与える3つのパラメータである $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ を充分小さい刻みで全範囲変化させ、これら3つのパラメータのあらゆる組み合わせに対して、周波数 $f_e$  (Hz)成分の強度検出を行なう方法である。そして、この結果得られた周波数 $f_e$  (Hz)成分を最大にする $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ の組み合わせが得られる。その時に、補償後の光波形劣化が最小になっているので、システム開始時には $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ がその値に設定される。

- 5      なお、初期設定モードを行なわないでトラッキング制御を始めた場合は、制御開始点において、偏波モード分散補償後の全偏波モード分散量が1タイムスロットより大きくなる可能性がある。その場合は、図13が $\Delta\tau$ 対 $f_e (=B/2)$  (Hz)成分強度の特性曲線において、偏波モード分散量が増大する程、周波数 $f_e$  (Hz)成分強度が大きくなるので、周波数 $f_e$  (Hz)成分の最大値制御によって、波形劣化が増大する。それに対して、初期設定モードを行なうことによって、伝送路偏波モード分散量 $\Delta\tau_F$ が1タイムスロットを越えない限りは、補償後の偏波モード分散量 $\Delta\tau_T$ が最小の時に周波数 $f_e$  (Hz)成分が最大になるので、正しい位置からトラッキング制御を開始することができる。

- 10      図36及び図37に、本発明の第2実施形態にかかる偏波モード分散補償を実現するための制御フローチャートを示す（なお、第3、第4実施形態においてもこのフローチャートは使用される）。まず、分散補償制御装置（図32ではPMD補償制御部と表記されている）225は、プログラムを開始し（ステップA1）、システム稼働開始時に初期設定モードの制御を行なう（ステップA2）。そして、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ の変
- 25      化の方向が初期化され（ステップA3）、そして $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ を固定して状態で、分散補償制御装置225は、 $\alpha$ を一定の刻み $\alpha_1$ だけ増大させ

- て、 $\alpha$ の値を設定する（ステップA 4）。さらに、この $\alpha$ を変化させたことによって、 $f_e$ （Hz）成分強度が増大したかが判別される（ステップA 5）。ここで、増大した場合には、YESルートがとられ、分散補償制御装置225は、同じ方向に $\alpha$ を同じ刻み $\alpha_1$ で変化させ、逆に、
- 5 減少した場合には、NOルートがとられ、分散補償制御装置225は、逆方向に（ステップA 6）、 $\alpha$ を同じ刻み $\alpha_1$ で変化させ、それぞれの場合において、新しい $\alpha$ が設定される（ステップA 7）。そして、再度 $f_e$ （Hz）成分強度が増大したかが判別され（ステップA 8）、増大した場合には、YESルートがとられ、分散補償制御装置225は、 $\alpha$
- 10 を同じ刻み $\alpha_1$ で変化させるが、この $\alpha$ を変化させる操作は、 $f_e$ （Hz）成分強度が減少するまで続けられる（ステップA 7，ステップA 8）。ステップA 8において、 $f_e$ （Hz）成分強度が増大していない場合には、分散補償制御装置225は、NOルートをとって、 $\alpha$ の制御（第1制御モード）を一旦終了する。
- 15 次に、分散補償制御装置225は、 $\beta$ の制御を同様に行なう。すなわち、ステップA 9で、 $\beta$ を一定の刻み $\beta_1$ だけ増大させて $\beta$ を設定し、ステップA 10において、 $\beta$ を変化させたことによって、 $f_e$ （Hz）成分強度が増大したかを判別する。ここで、増大した場合には、YESルートがとられ、図36の①と付した点を経由して、分散補償制御装置
- 20 225は、同じ方向に $\beta$ を同じ刻み $\beta_1$ で変化させる（ステップA 12）。逆に、ステップA 10において、減少した場合には、NOルートがとられ、分散補償制御装置225は、逆方向に（ステップA 11）、 $\beta$ を同じ刻み $\beta_1$ で変化させ、同様に、新しい $\beta$ を設定する（ステップA 12）。そして、ステップA 13において、再度 $f_e$ （Hz）成分強度
- 25 が増大しているかどうか判定され、このステップA 12，A 13の両ステップが繰り返され、周波数 $f_e$ （Hz）成分強度が最大となるよう

に制御が行なわれるのである。ステップ A 1 3 において、周波数  $f_e$  (Hz) 成分強度が増大しない場合は、分散補償制御装置 2 2 5 は、N O ルートを取り、 $\beta$  の制御 (第 2 制御モード) を一旦終了する。

最後に分散補償制御装置 2 2 5 は、 $\Delta \tau$  の制御を同様に行なう。すな  
5 わち、ステップ A 1 4 で、 $\Delta \tau$  を一定の刻み  $\Delta \tau_1$  だけ増大させて  $\Delta \tau$  を設定し、 $\Delta \tau$  を変化させたことによって、 $f_e$  (Hz) 成分強度が増大したかを判別する (ステップ A 1 5)。ここで、増大した場合には、Y E S ルートがとられ、分散補償制御装置 2 2 5 は、同じ方向に  $\Delta \tau$  を同じ刻み  $\Delta \tau_1$  で変化させる (ステップ A 1 7)。逆に、ステップ A 1  
10 5 において、減少した場合には、N O ルートがとられ、分散補償制御装置 2 2 5 は、逆方向に (ステップ A 1 6)、 $\Delta \tau$  を同じ刻み  $\Delta \tau_1$  で変化させ、同様に、新しい  $\Delta \tau$  を設定する (ステップ A 1 7)。そして、ステップ A 1 8 において、再度  $f_e$  (Hz) 成分強度が増大しているかどうか  
15 が判定され、増大の場合には、Y E S ルートを取り、このステップ A 1 7、A 1 8 の両ステップが繰り返されるのである。また、ステップ A 1 8 において、周波数  $f_e$  (Hz) 成分強度が増大しない場合は、分散補償制御装置 2 2 5 は、N O ルートを取り、 $\Delta \tau$  の制御 (第 3 制御モード) を一旦終了し、図 3 6 の②と付した点を経由して、図 3 6 のステップ A 3 に戻るようになっている。

20 このようにして一回の制御サイクルが終わり、再び  $\alpha$  から次の制御が同様に続くのである。これにより、偏波モード分散制御部 (分散補償制御装置 2 2 5) が、偏波制御器 4 B 内の 1 / 4 波長板 4 B - 1 1 の方位角及び 1 / 2 波長板 4 B - 1 2 の方位角並びに偏波モード間遅延器 2 2 7 の偏波モード間遅延量のいずれかを、第 1 特定周波数成分の強度が極  
25 大となるように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 1 制御モードに

よる制御を行なうとともに、第 1 制御モードの後に、残りの制御パラメータの一方を第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させ、その間、最初に変化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの他方を固定しておく第 2 制御モードによる制御を行ない、最後に、最初  
5 に変化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの一方を固定しながら、残りの制御パラメータの他方を第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させる第 3 制御モードによる制御を行なっていることになる。

このように、システム稼働中には、トラッキングする制御を行なっている  
10 があるので、変化する  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Delta \tau_c$  の最適値を捕らえることができるようになり、温度等の外部環境の変化による、これらのパラメータの変動に対しても、追従できる利点がある。

また、このようにシステム稼働前の初期設定モードが行なわれるので、システム稼働開始時から最適状態を得ることができる利点があり、加えて、稼働中のトラッキング制御が正常に行なわれるという利点がある。  
15

図 3 8 は、本発明の第 2 実施形態にかかる偏波モード分散補償を実現するための制御フローチャートを示す（なお、第 3, 第 4 実施形態においてもこのフローチャートは使用される）。システム稼働開始時の初期設定モードに関しては、図 3 6, 3 7 に示したフローチャートと同様であるが（ステップ B 1 ～ステップ B 3）、システム稼働中のトラッキング  
20 グ制御において、1 ステップの変化ごとに  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \Delta \tau_c \rightarrow \alpha \rightarrow \dots$  の制御を切り換える点に特長がある。

すなわち、分散補償制御装置 2 2 5 は初期設定を行ない（ステップ B 1 ～ステップ B 3）、ステップ B 4 において、まず、 $\alpha$  の値を設定する。  
25 そして、この  $\alpha$  を変化させたことによって、 $f_e$  (Hz) 成分強度が増大したかが判別される（ステップ B 5）。ここで、 $f_e$  (Hz) 成分強

度が増大した場合には、分散補償制御装置 2 2 5 は、YES ルートを取り、逆に、減少した場合には、分散補償制御装置 2 2 5 は、NO ルートを取り、 $\alpha$  の値を逆方向に変化させる（ステップ B 6）。これにより、第 4 制御モードが行なわれる（ステップ B 4～ステップ B 6）。

- 5        さらに、分散補償制御装置 2 2 5 は、 $\beta$  の値を刻み  $\beta 1$  で変化させ（ステップ B 7）、ステップ B 8 において、 $f_e$  (Hz) 成分強度が増大したかを判別する。増大した場合には、分散補償制御装置 2 2 5 は、YES ルートを取り、逆に、減少した場合には、NO ルートを取り、 $\beta$  の値を逆方向に変化させる（ステップ B 9）。これにより、第 5 制御モードが行なわれる（ステップ B 7～ステップ B 9）。

- 10        最後に、分散補償制御装置 2 2 5 は、 $\Delta \tau$  の値を刻み  $\Delta \tau$  で変化させ（ステップ B 1 0）、ステップ B 1 1 において、 $f_e$  (Hz) 成分強度が増大したかを判別する。増大した場合には、分散補償制御装置 2 2 5 は、YES ルートを取り、逆に、減少した場合には、NO ルートを取り、 $\Delta \tau$  の値を逆方向に変化させる（ステップ B 1 2）。これにより、第 6 制御モードが行なわれる（ステップ B 1 0～ステップ B 1 2）。

- この図 3 8 に示した制御方法は、図 3 6, 3 7 に示した制御方法に比べて、最適点への収束性が速い。またこれから、偏波モード分散制御部（分散補償制御装置 2 2 5）が、偏波制御器 4 B 内の 1 / 4 波長板 4 B - 1 1 の方位角及び 1 / 2 波長板 4 B - 1 2 の方位角並びに偏波モード間遅延器 2 2 7 の偏波モード間遅延量のいずれかを、第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 4 制御モードによる制御を行なうとともに、第 4 制御モードの後に、残りの  
20        制御パラメータの一方を第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、最初に変化させた制御パラメータ及び残りの制御パラ  
25

メータの他方を固定しておく第5制御モードによる制御を行ない、最後に、最初に変化させた制御パラメータ及び残りの制御パラメータの一方を固定しながら、残りの制御パラメータの他方を第1特定周波数成分の強度が増大するように変化させる第6制御モードによる制御を行ない、  
5   その後は、第1特定周波数成分の強度が極大となるまで、上記の第4制御モード、第5制御モード、第6制御モードを繰り返し実行するようになっていることになる。

こうして、この図36～図38に示したように、システム稼働前の初期設定モードが行なわれるので、システム稼働中も最適状態を得ることが  
10   できる利点があり、さらに、稼働中のトラッキング制御が正常に行なわれる利点がある。

#### (C2) 第2実施形態の第2変形例の説明

図39は、本発明の第2実施形態の第2変形例にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図であり、可変偏波モード間遅延の制御をアナ  
15   ログ的に行ない、制御態様2を用いた制御を行なうものである。この図39に示す光伝送システム210Dも、時分割多重方式を採用した伝送速度B (b/s) (例えば10Gb/s等)の光通信システムである。  
この光伝送システム210Dは、図39に示すように、光送信機2と、光受信機207aとが光伝送路(伝送ファイバ)3を介して接続された  
20   ものであり、受信側に分散補償制御装置225aが設けられている。これらの光送信機2、光受信機207a、光伝送路3は、上述したものと同一なものなので更なる説明を省略する。なお、本変形例でも、この  
『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用する。とする。

25   この分散補償制御装置225aは、受光器11と、バンドパスフィルタ12と、強度検出器13とをそなえるほか、バンドパスフィルタ(f

1,  $f_2$ ,  $f_3$  BPF) 232 A, 232 B, 232 Cと、位相比較回路233 A, 233 B, 233 Cと、 $\alpha$ 設定回路237 A,  $\beta$ 設定回路237 B,  $\Delta\tau$ 設定回路237 Cと、低周波重畳回路235 A, 235 B, 235 Cと、低周波発生器234 A, 234 B, 234 Cとを  
5 そなえて構成されている。ここで、受光器11, バンドパスフィルタ12, 強度検出器13は、前述したものと同一の機能を有するものなので、更なる説明を省略する。

まず、バンドパスフィルタ232 A, 232 B, 232 Cはそれぞれ、強度検出器13にて検出された第1特定周波数成分〔 $f_e$  (Hz) 成分〕の強度に含まれる低周波信号成分〔 $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  (Hz) 成分〕を抽出するものである。また、位相比較回路233 Aは、バンドパスフィルタ232 Aにて抽出された低周波信号成分を低周波発生器234 Aからの低周波信号と比較して位相のずれを検出するとともに、バンドパスフィルタ232 Aにて抽出された低周波信号成分が零となるよう  
10 に、 $\alpha$ 設定回路235 Aにおけるパラメータ設定を制御するものである。同様に、位相比較回路233 B及び233 Cはそれぞれ、入力側がバンドパスフィルタ232 B, 232 Cに対応しており、出力側が、 $\beta$ 設定回路237 B,  $\Delta\tau$ 設定回路237 Cに対応している。さらに、 $\alpha$ 設定回路237 A,  $\beta$ 設定回路237 B,  $\Delta\tau$ 設定回路237 Cはそれぞれ、位相比較回路233 A, 233 B, 233 Cから入力される信号から適当な制御を行なって、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Delta\tau$ の値を設定するものである。  
20

さらに、低周波重畳回路235 A, 235 Bはそれぞれ、 $\alpha$ 設定回路237 A,  $\beta$ 設定回路237 Bから出力される $\alpha$ 設定制御信号,  $\beta$ 設定制御信号に、低周波発振器234 A, 234 Bから入力される予め設定された所定の低周波信号( $f_1$  信号,  $f_2$  信号)を重畳することにより  
25 微小変調を与えて、変調されたパラメータ設定制御信号を偏波制御部4

Bに送出するものである。また、同様に、低周波重畳回路235Cは、 $\Delta\tau_c$ 。設定回路237Cから出力される $\Delta\tau_c$ 。設定制御信号に、低周波発振器234Cから入力される予め設定された所定の低周波信号( $f_s$ 、信号)を重畳することにより微小変調を与えて、変調されたパラメータ

5 設定制御信号を可変偏波モード間遅延器227に送出するものである。

またこれから、偏波モード分散制御部225aから上記の偏波制御器4B及び偏波モード間遅延器227へ出力される制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、強度検出器(第1強度検出部)13からの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波

10 信号成分が零となるように、上記の偏波制御器4B及び偏波モード間遅延器227を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化する補償量最適化制御部241をそなえて構成されたことになる。

このような構成によって、 $\alpha$ に関しては、 $\alpha$ 設定回路237Aからの

15  $\alpha$ 制御信号に、低周波発振器235Aから生じる低周波 $f_1$  (Hz)の微小信号が重畳される。そして、偏波モード分散補償後の光信号の一部は分岐され、光電変換された後、周波数 $f_e$  (Hz)成分強度が抽出され強度検出が行なわれる。 $\alpha$ の値が周波数 $f_e$  (Hz)成分強度最大の最適位置では、抽出された周波数 $f_e$  (Hz)成分強度が低周波 $f_1$

20 (Hz)の強度変化成分を持たず、 $\alpha$ の値が最適位置からずれた場合に、 $f_e$  (Hz)分強度の時間変化には周波数 $f_1$  (Hz)の成分が現れる。よって、 $f_e$  (Hz)成分強度から検出される周波数 $f_1$  (Hz)の成分を検知し、その成分が無くなる方向に $\alpha$ の値を変化させるようなフィードバックがかかるようにアナログ的に行なわれている。

25 つまり、その成分と、低周波発振器234Aからの低周波信号 $f_1$  (Hz)の位相比較を位相比較回路233Aによって行ない、その結果得



られた位相情報に従って、 $\alpha$ を変化させる方向を決定する。 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$ に関しても同様の制御を行なうが、低周波の周波数を異なる値にしてあるため、同時に制御を行なっても、独立に最適制御を行なうことができる。

- 5       すなわち、補償量最適化制御部 2 4 1 が、偏波制御器 4 B 内の 1 / 4 波長板 4 B - 1 1 の方位角及び 1 / 2 波長板 4 B - 1 2 の方位角並びに偏波モード間遅延器 2 2 7 の偏波モード間遅延量をそれぞれ異なる周波数で低周波変調して、伝送光信号のベースバンドスペクトル中の第 1 周波数成分強度を検出し、その中に含まれる低周波数成分の強度変調成分  
10       が零となるように、上記の偏波制御器 4 B 内の 1 / 4 波長板 4 B - 1 1 の方位角及び 1 / 2 波長板 4 B - 1 2 の方位角並びに偏波モード間遅延器 2 2 7 の偏波モード間遅延量を最適化するように構成されていることになる。

- そしてこのようにして、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\Delta\tau_c$  毎に各々異なる低周波  $f_1$  ,  
15        $f_2$  ,  $f_3$  (Hz) で微小変調が行なわれるので、 $f_e$  (Hz) 成分強度が、最大値に自動的に固定されるため、正確な制御が可能となる。

### (C 3) 第 2 実施形態の第 3 変形例の説明

- 図 4 0 は、本発明の第 2 実施形態の第 3 変形例にかかる光伝送システムの構成を示す図であり、システム稼働前（システム運用開始前）とシ  
20       ステム稼働中（システム運用開始後）とで、制御対象を可変としうるものである。また、検出形式 1 かつ制御態様 2 を行なうものである。

- この図 4 0 に示す光伝送システム 2 1 0 E も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  (b/s) (例えば 1 0 G b/s 等) の光通信システムである。この光伝送システム 2 1 0 E は、光送信機 2 と、光受信機 2 0  
25       7 a とが光伝送路（伝送ファイバ）3 を介して接続されたものであり、受信側に PMD 補償制御部（偏波モード分散制御部）2 2 5 b が設けら

れている。これらの光送信機 2、光受信機 207a、光伝送路 3は、上述したものと同一なものであるため更なる説明を省略する。なお、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するものとする。

5       この分散補償制御装置 225bは、受光器 11と、バンドパスフィルタ 12と、強度検出器 13をそなえるほか、 $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路 226とをそなえて構成されている。ここで、受光器 11、バンドパスフィルタ 12、強度検出器 13は、前述したものと同一の機能を有するものであるため、更なる説明を省略する。

10        $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路 226は、偏波制御器 4Bと可変偏波モード間遅延器 227とを制御するものである。すなわち、 $\alpha \cdot \beta \cdot \Delta \tau$ 。設定回路 226は、強度検出器 13から入力される信号によって、光受信機 207a内にある偏波制御器 4B内の1/4波長板 4B-11の方位角及び1/2波長板 4B-12の方位角並びに偏波モード間遅延器 227の偏波モード間遅延量の制御を行ない、また、ビットレート・伝送距離・信号変調方式等の伝送路偏波モード分散量の変動情報（これらの情報は、光送信機 2によって送信される）に対処できるように、可変偏波モード間遅延器 227の遅延量 $\Delta \tau$ の最適化を行なう。従って、可変偏波モード間遅延素子は設けておく必要がある。

20       このような構成によって、システム運用開始時（稼働前）には、可変偏波モード間遅延素子の遅延量 $\Delta \tau$ の最適化が行なわれ、ビットレート・伝送距離・信号変調方式等の切り換えでの伝送路偏波モード分散量の変動に対する処理が行なわれる。そして、システムの切り換えがあった場合には、光送信機 2から切り換えた旨の信号が、偏波モード分散制御部 225bに送られて、切り換え直後のみ可変偏波モード間遅延素子の遅延量 $\Delta \tau$ の最適化が行なわれる。これに対して、システム稼働中

には、偏波分散量の環境変化による変動が、PMD耐力（最大許容偏波モード分散量）に比べて小さい場合、 $\Delta \tau_c$ の制御は行なわれなくて、 $\alpha$ 、 $\beta$ のみが制御されるのである。

また、これにより、偏波モード分散制御部（PMD補償制御部）225bが、システム稼働中は、偏波制御器4Bのみの制御を行なう一方、システム稼働開始時及び光伝送路3における偏波モード分散の条件を決める要素に切換があった時には、偏波モード間遅延器227を制御するように構成されていることになる。

#### （C4）第2実施形態の第4変形例の説明

図41は本発明の第2実施形態の第4変形例にかかるシステム稼働時の偏波モード分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図である。この図41に示す光伝送システム210Fも、時分割多重方式を採用した伝送速度B（b/s）（例えば10Gb/s等）の光通信システムであるが、可変偏波モード間遅延器230が固定値の $\Delta \tau_c$ を用いた素子を使っているところが図40に示したシステムと異なる。なお、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』の意味で使用するものとする。

この光伝送システム210Fは、光送信機2と、光受信機207bとが光伝送路（伝送ファイバ）3を介して接続されたものであり、受信側に分散補償制御装置225cが設けられている。そして、この光受信機207bは、偏波制御器4Bと、可変偏波モード間遅延器230と、光分岐部5と、光受信部6とをそなえて構成されている。また、分散補償制御装置225cは、受光器11、バンドパスフィルタ12、強度検出器13、 $\alpha \cdot \beta$ 設定回路212をそなえて構成されている。また、この図41に示す $\alpha \cdot \beta$ 設定回路212は、 $f_e$ （Hz）成分強度が最大になるように、 $\alpha$ 、 $\beta$ の値を制御するものであって、換言すれば、光信号

の偏波状態を変化させる偏波制御器 4 B を制御する手段として機能している。

このような構成を用い、システム稼働前には、可変偏波モード間遅延器 2 3 0 を用いて、PMD 耐力が測定され、システム稼働中は、この可変偏波モード間遅延器 2 3 0 の遅延量を、PMD 耐力の値に基づいた許容範囲内に固定したまま、用いるようにする。

システム稼働前の PMD 耐力の測定は、この光伝送システム 2 1 0 F で用いるものと同じ送受信機を使って行なわれる。この方法を図 4 2 を使って説明する。

図 4 2 は PMD 耐力を測定する方法を説明する図である。システム稼働前は、図 4 2 に示す光受信機 2 0 7 b のような実際の伝送に用いるのと同じ送受信機を使って PMD 耐力を測定する。具体的には、この図 4 2 に示す可変偏波モード間遅延器 2 3 0 を用いて、連続的に偏波モード間の遅延量を変化させることで、伝送路の偏波モード分散量  $\Delta \tau_F$  を模擬し、光受信機 2 0 7 b で符号誤り率を測定する。そして、例えばペナルティ 1 dB 以下を伝送可能の条件として、PMD 耐力が  $\Delta \tau_{1dB}$  と求まる。その後、分散補償制御装置 2 2 5 c は、可変偏波モード間遅延器 2 3 0 の遅延量  $\Delta \tau_c$  を  $T - \Delta \tau_{1dB} < \Delta \tau_c < 2 \Delta \tau_{1dB}$  の範囲に設定する。ここで、T は 1 タイムスロット期間を表している。また、このような範囲に設定する決め方は、後述する。

一方、実際にシステムを稼働する時には、これら図 4 1, 図 4 2 のように、この可変偏波モード間遅延器 2 3 0 の遅延量を所定の設定値に固定したまま伝送路に挿入して用いられる。

これにより、システム稼働前には、制御信号を受けて、PMD 耐力が測定される。また、このようにして、偏波モード分散の補償条件を初期段階で最適化し、システム稼働時の制御すべきパラメータを少なくでき

る利点がある。

次に、このような補償条件を最適化できることについて、図 4 3 から図 5 1 を用いて説明し、可変偏波モード間遅延器 2 3 0 の遅延量  $\Delta \tau_c$  が  $T - \Delta \tau_{idB} < \Delta \tau_c < 2 \Delta \tau_{idB}$  の範囲に設定される理由を述べる  
5 こととする。

まず、図 4 3 及び、以下の式 (4) から式 (9) を用いて、偏波モード分散補償用の PMF 2 3 1 によって、偏波モード間に遅延差  $\Delta \tau_c$  を与えた後の光信号が、式 (9) のように表されることを示す。

図 4 3 は本発明の第 2 実施形態の第 4 変形例にかかる偏波モード分散補償用の PMF を用いた偏波モード分散補償制御装置が適用される光伝送システム 2 1 0 G の構成を示すブロック図である。この図 4 3 に示す光伝送システム 2 1 0 G も、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ )  
10

(例えば  $10 Gb/s$  等) の光通信システムであって、伝送路の偏波モード分散を補償する機能を有する。この光伝送システム 2 1 0 G は、光送信機 2 と、光受信機 2 0 7 c とが光伝送路 (伝送ファイバ) 3 を介して接続されたものであり、受信側に分散補償制御装置 2 2 5 d が設けられている。そして、この光受信機 2 0 7 c は、偏波制御器 4 B と、偏波保持ファイバ (PMF) 2 3 1 と、光分岐部 5 と、光受信部 6 とをそなえて構成されている。  
15

これらにより、光受信機 2 0 7 c において、受信光は、偏波制御器 4 B を通って、PMF 2 3 1 に入力される。ここで、光信号は、偏波モード分散補償されてから (偏波モード間に遅延差  $\Delta \tau_c$  を与えられてから)、光分岐部 5 にて分岐され、一方の光信号は、光受信部 6 で受光処理され、また他方の光信号は、分散補償制御装置 2 2 5 d のバンドパス  
20  
25 フィルタ 1 2 において、 $B$  ( $Gb/s$ ) の信号のベースバンドスペクトル中の  $f_e = B/2$  ( $Hz$ ) 成分強度が検出される。

ここで、送信光がジョーンズベクトル表示で次に示す式(4)のように表される直線偏光の場合、伝送路の偏波モード分散によって各偏波モード成分に強度比 $\gamma$ で分離され、遅延差 $\Delta\tau_F$ を与えられた後の光信号は式(5)のようにベクトル表示できる。

$$5 \quad \begin{bmatrix} A(t) + j \cdot B(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

(j は虚数単位)

$$10 \quad P = \begin{bmatrix} \sqrt{\gamma} \cdot (A(t - \Delta\tau_F) + j \cdot B(t - \Delta\tau_F)) \\ \sqrt{(1 - \gamma)} \cdot (A(t) + j \cdot B(t)) \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

さらに、偏波制御器4B内の1/4波長板4B-11、1/2波長板4B-12の方位角を各々 $\alpha$ 、 $\beta$ (ラジアン)とした場合、偏波制御器4Bを透過した後の光波形は、式(7)、式(8)で表す行列により、式(6)のような行列計算で求められる。

$$15 \quad R = H \cdot Q \cdot P \quad \dots (6)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 + j \cdot \cos(2\alpha) & j \cdot \sin(2\alpha) \\ j \cdot \sin(2\alpha) & 1 - j \cdot \cos(2\alpha) \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

$$20 \quad H = j \begin{bmatrix} \cos(2\beta) & \sin(2\beta) \\ \sin(2\beta) & -\cos(2\beta) \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

その結果、光波形が次のRの形で表されたとする。

$$25 \quad R = \begin{bmatrix} C(t) + j \cdot D(t) \\ E(t) + j \cdot F(t) \end{bmatrix}$$

そして、PMD補償用PMF231によって、偏波モード間に遅延差

$\Delta \tau_c$  を与えた後の光波形は、最終的に式 (9) のように表される。

$$R' = \begin{bmatrix} C(t + \Delta \tau_c) + j \cdot D(t + \Delta \tau_c) \\ E(t) + j \cdot F(t) \end{bmatrix} \quad \dots (9)$$

- 5       ここでは簡便のため、伝送路の偏波モード分散の *f a s t* 軸と *P M F* の *s l o w* 軸とが並行になるように軸が設定されているが、一般にそれらが回転した関係にあっても、 $\alpha$  (QWP)、 $\beta$  (HWP) を調節することによって同様の状態が実現できる。

- 10       次に、図 4 4 から図 4 7 を用いて、20 GHz 成分強度の最大値が出る  $\alpha$ 、 $\beta$  と、アイ開口度の最大値が出る  $\alpha$ 、 $\beta$  とが同一であることを示す。これらの図は、計算機シミュレーションによって作成されたものであって、横軸が  $\alpha$  (QWP) で、縦軸が  $\beta$  (HWP) であり、また、Z 軸（紙面裏から表に貫く方向）に、強度の強さが等高線で表されている。

- 15       図 4 4 (a)、(b) はそれぞれ、遅延量  $\Delta \tau_c$  が 0 (ps) における 40 Gb/s の NRZ 信号に対してこれらの制御を行なった場合の  $\alpha$  (度: degree)、 $\beta$  (度: degree) に対する、受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度及び受信波形のアイ開口度を示す。これらの図から、20 GHz 成分強度の最大〔図 4 4 (a) の等高線の頂点、1 から 8 を付した箇所〕を与える  $\alpha$ 、 $\beta$  の組み合わせと、アイ開口度の最大
- 20       〔図 4 4 (b) の等高線の頂点、1 から 8 を付した箇所〕を与える  $\alpha$ 、 $\beta$  の組み合わせは、一致していることがわかる。なお、 $\gamma$  は偏波モード分散による波形劣化が最大になるように、0.5 に固定している。

- 25       同様に、図 4 5 (a)、(b) はそれぞれ、遅延量  $\Delta \tau_r$  が 5 (ps) における、受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度及び受信波形のアイ開口度であり、図 4 5 (a) の等高線の頂点の位置 1 から 7 と、図 4 5 (b) の等高線の頂点の位置 1 から 7 とが一致している。図 4 6

(a), (b) はそれぞれ、遅延量  $\Delta \tau_F$  が 10 (ps) における、受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度及び受信波形のアイ開口度であり、図 46 (a) の等高線の頂点の位置 1 から 6 と、図 46 (b) の等高線の頂点の位置 1 から 6 とが一致している。さらに、図 47 (a), (b) はそれぞれ、遅延量  $\Delta \tau_F$  が 20 (ps) における、受信ベースバンド信号中の 20 GHz 成分強度及び受信波形のアイ開口度であり、図 47 (a) の等高線の頂点の位置 1 から 7 と、図 47 (b) の等高線の頂点の位置 1 から 7 とが一致している。

これら図 44 (a), (b) から図 47 (a), (b) のすべての図から、20 GHz 成分強度の最大・最小を与える  $\alpha$ ,  $\beta$  の組み合わせと、アイ開口度の最大・最小の等高線の頂点) を与える  $\alpha$ ,  $\beta$  の組み合わせが、一致していることがわかる。また、この関係は、全ての伝送路の PMD 値 (偏波モード分散値)  $\Delta \tau_F$  において一致している。このことより、ベースバンドスペクトル中のビットレートの半分の周波数成分強度を最大にする偏波モード分散補償方法が有効であることがわかる。また、NRZ 信号のみならず、40 Gb/s OTDM 波形に関しても、同様に 20 GHz 成分強度を用いた制御を行なうことができることが確認できている。

そして次に、図 48 (a), (b) 及び図 49 (a), (b) を用いて、アイ開口ペナルティについて説明する。

図 48 (a) は、40 Gb/s NRZ 信号を用いて伝送を行なったときの偏波モード分散補償あり／無しの場合の、伝送路 PMD 対 20 GHz 成分強度の計算結果を示す図であり、補償ありの方と、補償無しの方との 2 種類が示されている。また、この図 48 (a) の横軸は、伝送路の PMD  $\Delta \tau_F$  であり、また、縦軸は、20 GHz 成分強度の最大値を示している。ここで、 $\Delta \tau_F$  は伝送路の遅延量を表すものであり、また、



アイ開口ペナルティとは、送受対向時からのアイ開口度の劣化分を意味する。また、図 4 8 (b) は、同じく伝送路 PMD  $\Delta \tau_F$  (横軸) 対アイ開口ペナルティ (縦軸) の計算結果を示す図である。ここで、補償用 PMF の値としては、 $\Delta \tau_c = 10 \text{ ps}$  及び  $20 \text{ ps}$  が設定されている。

5    なお、 $\alpha$ 、 $\beta$  の値は、 $\Delta \tau_F$  の値によって異なり、これらの計算時には最適値になるように設定されている。

これら図 4 8 (a), (b) のように、 $\Delta \tau_c = 10 \text{ ps}$  の場合、伝送路 PMD が  $\Delta \tau_F = 0 \text{ ps}$  では、 $\alpha = 45^\circ$  および  $\beta = 22.5^\circ$  の組み合わせのときに、 $20 \text{ GHz}$  成分強度が最大となり (図 4 8 (a) 参照)、アイ開口ペナルティが最小値 0 となる (図 4 8 (b) 参照)。

10    これは、偏波制御器 4 B によって、PMF 2 3 1 に入力する光信号が、PMF 2 3 1 の偏波主軸方向と一致した直線偏光になっている場合に相当する。この場合、光信号は、PMF 2 3 1 の偏波分散の影響を受けることなく、送受対向時と同じアイ開口度を得ることができる。

15    これに対して、伝送路 PMD が  $\Delta \tau_F > 10 \text{ ps}$  と充分大きい場合、 $\alpha = \beta = 0^\circ$  のときに  $20 \text{ GHz}$  成分強度が最大となり [図 4 9 (a) 参照]、アイ開口ペナルティが最小となる。これは、偏波制御器の制御によって、伝送路の偏波主軸のうち、fast 軸を透過した光の偏波方向が PMF 2 3 1 の slow 軸に一致し、slow 軸を透過した光の偏波方向が PMF 2 3 1 の fast 軸に一致する状態に対応している。結果として、光波形が差し引き  $\Delta \tau_F - \Delta \tau_c$  の偏波分散を受けた状態と一致し、 $\Delta \tau_F$  の偏波分散を受けた補償無しの場合に比べて、劣化が抑えられることになる。

20   

そして、 $0 \text{ ps} < \Delta \tau_F < 10 \text{ ps}$  の中間範囲の場合には、 $\Delta \tau_F$  が増大するにつれて、 $20 \text{ GHz}$  成分強度が最大になる  $\alpha$ 、 $\beta$  の組み合わせは  $\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 22.5^\circ$  から  $\alpha = \beta = 0^\circ$  へと連続的に変化する。

25    その場合、この図 4 9 (b) のように、アイ開口ペナルティは 0 d

Bから、 $\Delta \tau_F = \Delta \tau_c / 2 = 5 \text{ p s}$  辺りで増大し、その後減少して  $\Delta \tau_F = \Delta \tau_c = 10 \text{ p s}$  で再び  $0 \text{ d B}$  になる。図 48 (b) に戻って、補償用 PMF が  $\Delta \tau_c = 20 \text{ p s}$  の場合は、 $\Delta \tau_F = \Delta \tau_c / 2 = 10 \text{ p s}$  辺りのペナルティ増大が顕著になることが分かる。そこで、なるべく広い  $\Delta \tau_F$  の範囲で偏波モード分散を補償するためには、 $\Delta \tau_c$  をある程度大きく設定する必要があるが、 $\Delta \tau_c$  を大きく設定しすぎると  $\Delta \tau_F = \Delta \tau_c / 2$  におけるペナルティ増大が大きくなる。よって、適当な  $\Delta \tau_c$  の範囲が存在する。

また同様に、図 49 (a), (b) はそれぞれ、 $40 \text{ G b / s O T D M}$  信号を用いて伝送を行なったときの偏波モード分散補償あり／無しの場合の、伝送路 PMD  $\Delta \tau_F$  対  $20 \text{ G H z}$  成分強度と、伝送路 PMD  $\Delta \tau_F$  対アイ開口ペナルティの計算結果であり、補償ありの方と、補償無しの方との 2 種類が示されている。この場合も、NRZ 信号の場合と同様な結果が得られる。

次に、最適な  $\Delta \tau$  の設定範囲の決め方を図 50 (a), (b) を用いて説明する。この図 50 (a) は、遅延量  $\Delta \tau_c$  が最小の場合の伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの関係を示す図であり、図 50 (b) は、遅延量  $\Delta \tau_c$  が最大の場合の伝送路 PMD 対アイ開口ペナルティの関係を示す図である。これらの図は、その設定範囲の決め方を模式的に示した図であって、点線 a および点線 b で示されたものは、偏波モード分散補償器が無いときの偏波モード分散によるペナルティ変化 (PMD  $\Delta \tau_F$  対ペナルティの関係) であり、実線で示されたものは、PMF で偏波モード分散補償を行なう場合の偏波モード分散によるペナルティ変化を示したものである。ここで、ペナルティ  $1 \text{ d B}$  以下を劣化許容基準とすると、PMD 耐力 (最大許容偏波モード分散量) は、この図 50 (a), (b) の  $\Delta \tau$  (縦軸) が  $1 \text{ d B}$  で表される。なお、横軸における  $\tau_{\max}$

は、1 タイムスロットの時間に対応している。

図50 (a) (偏波制御器と遅延差 $\Delta\tau_c$ のPMFで偏波モード分散補償を行なう場合の伝送路PMD $\Delta\tau_F$ 対ペナルティの関係)に示す実線の部分のうち $\Delta\tau_F > \Delta\tau_c$ では、点線aを $\Delta\tau_F$ 軸方向に $\Delta\tau_X$ だけ並行移動した実線cを辿っている。そして、 $0 < \Delta\tau_F < \Delta\tau_c$ では、 $\Delta\tau_F = \Delta\tau_c / 2$ 近傍の点Bを最大にペナルティ増大があるが、点線bを $\Delta\tau_F$ 軸方向に $\Delta\tau_c$ だけ並行移動した点線dと点線aの交点Aよりはペナルティが小さい。 $\Delta\tau_c$ が大きく設定された場合には、点Bが点Aに近づく方向に移動し、1 dB以下の劣化許容基準を超えてしまうので、点Aがペナルティ1 dB以下の許容基準を満たすようにする必要がある。よって、図50 (b)のように、 $\Delta\tau_c$ の最大値としては、PMD耐力 $\Delta\tau_{1dB}$ の2倍となり、実用上点Aが劣化許容基準に達したところとなる。

また、この偏波モード分散補償方法は、 $\Delta\tau_F$ が1 タイムスロットを越える場合には原理的に適用できない。この理由を図51 (a), (b)を用いて説明する。図51 (a), (b)は遅延量 $\Delta\tau$ が1 タイムスロットを越える場合を説明する図であり、この図51 (b)に示すように、 $\Delta\tau_F$ が1 タイムスロット (25 ps) より大きくなると、 $\Delta\tau_T = \Delta\tau_F + \Delta\tau_c$ のときにモニタ強度が最大となるからである。すなわち、図51 (b)において、偏波モード分散補償後の全PMD量が $\Delta\tau_T = \Delta\tau_F + \Delta\tau_c$ となる $\alpha, \beta$ の組み合わせの場合の方が、 $\Delta\tau_T = \Delta\tau_F - \Delta\tau_c$ となる $\alpha, \beta$ の組み合わせの場合より、波形劣化が大きいかかわらず、検出しているB/2 GHz成分強度が大きくなるためである。

よって、 $\Delta\tau_F = (1 \text{ タイムスロット})$ を偏波モード分散補償を行なう偏波モード分散量の最大値とすると、図50 (b)のように、そのと

きは  $\Delta \tau_c = (1 \text{ タイムスロット}) - (\text{PMD 耐力 } \Delta \tau_{1dB})$  となる。

すなわち、偏波モード分散制御部 225c (図 41 参照) が、最大許容偏波モード分散量を設定する最大許容偏波モード分散量設定手段 ( $\alpha \cdot \beta$  設定回路 212) をそなえるととも、第 1 強度検出部 (強度検出器 13) で検出された第 1 特定周波数成分として、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 3 中に設けられた偏波制御器 4B 及び偏波モード間遅延器 230 のうちの少なくとも一方をフィードバック制御する場合に、システム稼働時には、偏波モード間遅延器 230 の遅延量  $\Delta \tau_c$  を、1 タイムスロットから最大許容偏波モード分散量  $\Delta \tau_{1dB}$  を引いた値として定義される下限値以上で、且つ、最大許容偏波モード分散量  $\Delta \tau_{1dB}$  の 2 倍の大きさをもつ値として定義される上限値以下の値に設定していることになる。また、偏波モード分散制御部 225c が、システム稼働時における偏波モード間遅延器 230 の遅延量を上限値又は下限値に設定してもよい。

再度図 41 に戻って、分散補償制御装置 225c は、システム稼働前に、実際の光伝送システムで用いるものと同じ送受信機を用いて、PMD 耐力を測定して、例えば、ペナルティ 1 dB 以下を伝送可能の基準として、PMD 耐力が  $\Delta \tau_{1dB}$  が求まる。その後、分散補償制御装置 225c は、可変偏波モード間遅延器 230 の遅延量  $\Delta \tau_c$  を  $T - \Delta \tau_{1dB} < \Delta \tau_c < 2 \Delta \tau_{1dB}$  の範囲に設定する。

このようにして、偏波モード分散の補償条件を初期段階で最適化し、システム稼働時の制御すべきパラメータを少なくできる利点がある。また、PMF 231 (図 43 参照) のような固定偏波モード間遅延素子の代わりに、可変偏波モード間遅延素子 (図 41 参照) を用いて制御する制御態様に発展させれば、さらに波形劣化を低減することができる。つまり、可変遅延素子の遅延量  $\Delta \tau_c$  を、伝送路の PMD 量  $\Delta \tau_P$  に一致さ

せるように制御を行なうことによって、補償後のPMD量を $\Delta \tau_T = \Delta \tau_F - \Delta \tau_C = 0$ にするようにもできる。また、このように、超高速光伝送システムにおいて、伝送制限要因となる伝送路の偏波モード分散の補償を効果的に行なうことができる。

5 (D) 本発明の第3実施形態の説明

実際の伝送においては、伝送路の波長分散と偏波モード分散との両方が、伝送速度および伝送距離の制限要因となる。これらを克服するためには、伝送路の波長分散値と偏波モード分散値を同時にモニタし、それぞれによる伝送光波形劣化を同時に補償するシステムが要求される。この『分散』という単語は、一般的には『波長分散』を意味するものとして使用されているが、第3実施形態では、この『分散』という単語を、  
10 『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用する事とする。

図52に示す光伝送システム70も、時分割多重方式を採用した伝送速度B (b/s) (例えば40Gb/s、10Gb/s等)の光通信システムである。この光伝送システム70は、第1実施形態にかかる光伝送システム10と比して、伝送光信号の偏波モード分散を補償するとともに、伝送光信号の波長分散を補償する点が異なり、その他の点は第1実施形態にかかる光伝送システム10とほぼ同様のものである。

すなわち、この光伝送システム70は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機72と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機77とが光伝送路(伝送ファイバ)73を介して接続されており、分散補償制御装置71が受信側に設けられている。なお、分散補償制御装置71は、『偏波モード分散・波長分散補償制御装置71』を  
20 意味する。

ここで、光受信機77は、波長分散補償器83、偏波モード分散補償

器 7 4, 光分岐部 7 5, 光受信部 7 6 をそなえて構成されている。こ  
こで、波長分散補償器 8 3 は、伝送光信号の波長分散を補償するものであ  
り、偏波モード分散補償器 7 4 は、伝送される光信号に生じた偏波モー  
ド分散を補償するものである。なお、光分岐部 7 5, 光受信部 7 6 は、  
5 上述したものと同様なものであるので更なる説明を省略する。

また、分散補償制御装置 7 1 は、光分岐部 7 5 により取り出された光  
信号に基づいて光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じる偏波モード分散  
の状態及び波長分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応  
じて偏波モード分散補償器 7 4 及び波長分散補償器 8 3 を制御するもの  
10 であり、受光器 7 8, バンドパスフィルタ〔 $B/2$  (Hz) BPF〕 7  
9 A, バンドパスフィルタ〔 $B$  (Hz) BPF〕 7 9 B, 強度検出器 8  
0 A, 8 0 B, 偏波モード分散制御部 9 1, 波長分散制御部 2 4 0 をそ  
なえて構成されている。

ここで、受光器 7 8 は、光分岐部 7 5 により取り出された光信号を受  
15 光して、電気信号に変換するものであり、また、バンドパスフィルタ〔  
 $B/2$  (Hz) BPF〕 7 9 A は、光伝送路 7 3 を介して受信側に入力  
される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数  
成分〔 $B/2$  (Hz) 成分〕を検出するものであり、第 1 特定周波数成  
分検出部として機能している。この第 1 特定周波数成分は、光信号の伝  
20 送速度や信号波形に応じて適宜設定されるものであり、その周波数は、  
ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数に設定されている。

そして、強度検出器 8 0 A は、バンドパスフィルタ 7 9 A にて検出さ  
れた上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものであ  
り、第 1 強度検出部として機能している。

25 また、偏波モード分散制御部 9 1 は、強度検出器 8 0 A で検出された  
第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 7 3 の偏波モ

ード分散量を制御するものであって、偏波モード分散量検出部 8 1, 波  
長分散量検出部 8 1 B をそなえて構成されている。ここで、偏波モード  
分散量検出部 8 1 は、偏波モード分散量を検出するものであり、さらに、  
5 パラメータ設定回路 8 2 は、偏波モード分散量検出部 8 1 にて検出され  
た偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号の偏波モード分散を補償す  
るための制御量としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制御信  
号を、光受信機 7 7 内の偏波モード分散補償器 7 4 に対して出力するも  
のである。そして、偏波モード分散制御部 9 1 は、制御態様 2 (または  
、後述するような制御態様 1) を使用している。

10 一方、バンドパスフィルタ〔B (H z) B P F〕7 9 B は、光伝送路  
7 3 を介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペ  
クトル中の第 2 特定周波数成分〔B (H z) 成分〕を検出するものであ  
り、第 2 特定周波数成分検出部として機能している。ここで、この第 2  
特定周波数成分の周波数は、ビットレートに相当する周波数に設定され  
15 ている。強度検出器 8 0 B は、バンドパスフィルタ 7 9 B にて検出され  
た上記第 2 特定周波数成分の強度についての情報を検出するものであり、  
第 2 強度検出部として機能している。なお、この強度検出器 8 0 B が、  
検出した上記第 2 特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号と  
して出力しうるようにしてもよい。

20 また、波長分散制御部 2 4 0 は、強度検出器 8 0 B で検出された第 2  
特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 の波  
長分散量を制御するものであって、波長分散量検出部 8 1 B, 波長分散  
量設定回路 8 2 B をそなえて構成されている。

ここで、波長分散量検出部 8 1 B は、強度検出器 8 0 B にて検出され  
25 た上記第 2 特定周波数成分の強度から、所定の第 2 関数演算を行なうこ  
とにより上記伝送光信号の波長分散量を検出するものである。また、波

長分散補償量設定回路 8 2 B は、波長分散量検出部 8 1 B にて検出された上記波長分散量に基づいて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定するものであり、波長分散制御量設定部として機能している。

- 5       この制御方法は、第 2 強度検出部（強度検出器 8 0 B）で検出された第 2 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 をフィードバック制御する方法である。すなわち、第 1 関数を使わずに、検出された特定の周波数の強度が極大又は極小となるように、フィードバックして制御量を決定するよう  
10       になっている。なお、上記第 2 実施形態において制御態様 2 を『極大となるように』と定義したが、以下、『極大又は極小となるように』フィードバック制御することも、制御態様 2 に含めるものとする。

- そして、波長分散値と偏波モード分散値の同時モニタリングに、波長分散モニタ周波数  $f_{GV D}$  として、伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) と同一周波数  $B$   
15       ( $Hz$ ) が用いられる一方、PMD モニタ周波数  $f_{PMD}$  としては伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) の半分の周波数  $B/2$  ( $Hz$ ) が用いられており、それぞれに異なる周波数が用いられている。なお、本実施形態は、受光器 7 8 の出力は 2 分岐されており、特定周波数成分を検出する周波数値は 2 種類となっているが、検出形式 1 を使用しているものである。検出形式  
20       2 でない理由は、偏波モード分散制御を行なう信号系統（バンドパスフィルタ 7 9 A, 強度検出器 8 0 A, 偏波モード分散制御部 9 1）は、1 種類の周波数を用いており、また、波長分散制御を行なう信号系統（バンドパスフィルタ 7 9 B, 強度検出器 8 0 B, 波長分散制御部 2 4 0）も、1 種類の周波数を用いているからである。

- 25       また、本実施形態は、上記伝送光信号が NRZ 光信号である場合には、第 1 特定周波数成分検出部（バンドパスフィルタ 7 9 A）が、第 1 特定



周波数成分として、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するように構成されるとともに、第 2 特定周波数成分検出部（バンドパスフィルタ 79 B）が、第 2 特定周波数成分として、ビットレートに相当する周波数を検出するように構成されており、40 Gb/s NRZ 方式の場合、 $f_{\text{GV D}} = 40 \text{ GHz}$ 、 $f_{\text{PMD}} = 20 \text{ GHz}$  に設定されている。なお、周波数設定例としては、これ以外の値を用いることもできる。

これから、偏波モード分散と波長分散とが互いに依存性があつたとしても、それぞれの制御を同時かつ独立に行なうようにできる。例えば、40 Gb/s NRZ 方式の場合、 $f_{\text{GV D}} = 40 \text{ GHz}$  強度が極小に、 $f_{\text{PMD}} = 20 \text{ GHz}$  強度が極大になるように制御すればよい。

これにより、光信号の流れは次のようになる。光送信機 72 から送信された伝送速度  $B$  (b/s) の光信号は光伝送路 73 を介して光受信機 77 に伝送され、光分岐部 75 により、光伝送路 73 を介して伝送される光信号の一部が取り出され、取り出された光信号（モニタ光）が分散量検出装置 71 に送出される。

そして、分散量検出装置 71 においては、光分岐部 75 により取り出された光信号に基づいて光伝送路 73 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散の状態及び波長分散の状態がモニタされ、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器 74 及び波長分散補償器 83 の制御態様 2 による制御が行なわれる。すなわち、所定の補償値が得られるように、最大値制御が行なわれる。

具体的には、光分岐部 75 により取り出された光信号は受光器 78 により受光されて、電気信号に変換された後に、バンドパスフィルタ 79 A、79 B に入力される。そして、バンドパスフィルタ 79 A では、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分〔 $B/2$  (Hz) 成分〕が検出され、強度検出器 80 A により、バンドパス

フィルタ 7 9 A にてそれぞれ検出された上記第 1 特定周波数成分の強度が検出され、この特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、フィードバック制御されるのである。

5 さらに、パラメータ設定回路 8 2 により、伝送光信号の偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散量検出部 8 1 にて検出された偏波モード分散量を相殺するようなパラメータ情報（遅延量  $\Delta \tau$ ）を設定するためのパラメータ設定制御信号が、光受信機 7 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 7 4 に対して出力される。

10 そして、偏波モード分散補償器 7 4 では、このパラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。

一方で、分散補償制御装置 7 1 のバンドパスフィルタ 7 9 B では、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 2 特定周波数成分（B（Hz）成分）が検出され、強度検出器 8 0 B により、バンドパスフィルタ 7 9 B にてそれぞれ検出された上記第 2 特定周波数成分の強度が検出され、この特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、フィードバック制御されるのである。

20 そして、波長分散補償器 8 3 では、この制御信号を受けると、当該制御信号に基づいて光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じた波長分散が補償される。すなわち、この分散補償制御ステップは、次のようになる。伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分が検出され（第 1 特定周波数成分検出ステップ）、この第 1 特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報が検出され（第 1 強度検出ステップ）、第 1 強度検出ステップで検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 7 3 の偏波モー

ド分散量が制御される（偏波モード分散制御ステップ）とともに、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第２特定周波数成分が検出され（第２特定周波数成分検出ステップ）、この第２特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第２特定周波数成分の強度についての情報  
5 情報が検出され（第２強度検出ステップ）、第２強度検出ステップで検出された第２特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 の波長分散量が制御されて（波長分散制御ステップ）いることになる。

これにより、それぞれの制御を独立かつ同時に行なうことができるよう  
10 になる。

このような構成によって、TDM方式による超高速光伝送システムにおいて、伝送速度および伝送距離の制限要因となる波長分散補償と偏波モード分散補償とを同時に最適化することが可能になる。

このように、本発明の第３実施形態にかかる分散補償制御装置 7 1 に  
15 よれば、前述した第１実施形態の場合と同様の利点が得られるほか、伝送光信号の偏波モード分散を補償するだけでなく、伝送光信号の波長分散を補償することもできるので、偏波モード分散及び波長分散の影響による光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために更に寄与することができる。

20 なお、これとは逆に、偏波モード分散制御量と波長分散制御量とを制御態様 1 によって、制御を行なうこともできる。すなわち、偏波モード分散量を第１関数により求めるとともに、波長分散制御量を第２関数により求めることもできる。ここで、第１関数により求めるとは、所定の第１関数演算〔すなわち、前述した式（２）、（３）を用いた関数演算  
25 〕を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出することである。また、第２関数により求めるとは、所定周波数成分強度の波

長分散値依存性を予め計測して、データとして蓄えておき、このデータに基づいた関数を作成して、第 2 関数として求めることを意味する。

すなわち、偏波モード分散制御部（偏波モード分散量検出部 8 1、パラメータ設定回路 8 2）が、第 1 強度検出部で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた偏波モード分散補償器 7 4 に対して偏波モード分散制御量を設定し、また、波長分散制御部 2 4 0 が、強度検出器 8 0 B で検出された第 2 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定するようにしてもよい。ここで、波長分散量検出部 8 1 B は、強度検出器 8 0 B（第 2 強度検出部）にて検出された上記第 2 特定周波数成分の強度から、所定の第 2 関数による演算（第 2 関数演算）を行なうことにより伝送光信号の波長分散量を検出するものであり、また、波長分散補償量設定回路 8 2 B は、波長分散量検出部 8 1 B にて検出された波長分散量に基づいて、伝送光信号の波長分散を補償すべく、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定するものであり、波長分散制御量設定部として機能する。

この場合の信号の流れは次のようになる。すなわち、図 5 2 に示す偏波モード分散量検出部 8 1 にて、強度検出器 8 0 A にて検出された第 1 周波数成分の強度から、所定の第 1 関数演算〔すなわち、前述した式（2）、（3）を用いた関数演算〕を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量が検出される。また、波長分散量検出部 8 1 B にて、強度検出器 8 0 B にて検出された第 2 周波数成分の強度から、所定の第 2 関数演算を行なうことにより上記伝送光信号の波長分散量が検出され、さらに、波長分散補償量設定回路 8 2 B にて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、波長分散量検出部 8 1 B にて検出された上記波長分散

量に基づいて、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して、波長分散制御量を設定するための制御信号が出力されるようになるのである。

5       なお、前述した第 2 実施形態にて説明したように、低周波重畳を用いて自動的にフィードバック制御を行なう場合には、偏波モード分散補償器 7 4 と波長分散補償器 8 3 の制御信号に重畳する低周波信号の周波数を別々にすれば、偏波モード分散補償器 7 4 及び波長分散補償器 8 3 を独立に制御することができる。

10       図 5 3 は、本発明の第 3 実施形態にかかる光伝送システムの構成を示すブロック図であるが、図 5 2 に示した光伝送システムと同等なシステムを表す図であって、波長分散値と偏波モード分散値との同時モニタにおいて、モニタリングに供する信号を取り出す（抽出する）位置に着目して描いたものである。受信された信号光は、光段（光分岐部 7 5）にて 2 分岐されて、一方は、主信号系として光受信部 7 6 に入力されて、  
15       受光器 7 6 a [図 5 3 では、P D (Photo Diode)と表示されている]にて O/E 変換されてから、光受信部 7 6 b にて受信処理がなされる（図 5 3 では、R x と表示されている）。他方は、モニタ系として、受光器 7 8（図 5 3 では、P D と表示されている）に入力され O/E 変換されて、電気信号が処理されるようになっている。

20       さらに、電気段（受光器 7 8）で 2 分岐され、中心波長  $f_{GV D}$  (Hz) の狭帯域バンドパスフィルタ 7 9 B に入力されてから、強度検出器 8 0 A にてモニタ値が検出されるとともに、中心波長  $f_{PMD}$  (Hz) の狭帯域バンドパスフィルタ 7 9 B に入力されてから、強度検出器 8 0 B にてモニタ値が検出される。すなわち、第 1 強度検出部（強度検出器 8  
25       0 A）が、検出した上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成されており、第 2 強度検出部（強

度検出器 8 0 B) が、検出した上記第 2 特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成されていることになる。なお、各モニタ系統はそれぞれ、1 種類の周波数値が使用されているので、検出形式 1 が使用されていることになる。

5       また、図 5 4 は本発明の第 3 実施形態にかかる光伝送システムのより詳細なブロック図である。この図 5 4 に示す光伝送システム 7 0 は、光送信機 7 2，光伝送路 7 3，光受信機 7 7，分散補償制御装置 7 1 をそなえて構成されている。

10       ここで、光受信機 7 7 内にある、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 とはそれぞれ可変型であって、波長分散補償量および偏波モード分散補償量が、システム稼働中、常時、最適値制御されることが可能である。また、光分岐部 7 5 からの出力信号は、分散補償制御装置 7 1 の受光器 7 8 に入力されるようになっている。そして、この受光器 7 8 の出力は、分岐されてバンドパスフィルタ 7 9 A，7 9 B にそれぞれ  
15       入力され、これらの出力が強度検出器 8 0 A，8 0 B に入力され、さらに、これらの出力はそれぞれ、CPU 2 3 9 A，2 3 9 B に入力されている。これらの CPU 2 3 9 A，2 3 9 B は、同時モニタ法を用い、受信端に配置した偏波モード分散補償器 7 4 と波長分散補償器 8 3 とを  
20       フィードバック制御するようになっており、偏波モード分散制御部及び波長分散制御部として機能している。

25       なお、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はなく、例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

      また、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散

補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

さらに、偏波モード分散補償器および波長分散補償器は、CPU 239A, 239Bにより制御されているが、これに限らず、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、CPU 239A, 239Bの前後にA/D変換器（図示省略）やD/A変換器（図示省略）を挿入する場合もあり得る。

#### (D1) 第3実施形態の第1変形例の説明

波長分散値と偏波モード分散値との同時モニタに関して、モニタリングに供する信号を取り出す（抽出する）位置は、様々な位置に設定して実施することも可能である。図55は本発明の第3実施形態の第1変形例にかかる光伝送システムのブロック図を示す図であるが、この図55に示す光伝送システム70Aは、光送信機72と、光受信機77Aとが光伝送路73を介して接続されており、補償量モニタ装置92Aが受信側に設けられている。この補償量モニタ装置92Aは、受光器(PD)78A, 78Bと、バンドパスフィルタ79B, 79Aと、強度検出器80A, 80Bとをそなえて構成されている。なお、周波数設定例としては、 $B$  (Gb/s) NRZ信号の場合、 $f_{\text{cvd}} = B$  (GHz)、 $f_{\text{pm}} = B/2$  (GHz)であるが、これ以外の値を用いることもできる。

そして、受信端において、信号光は、光分岐部75A（光段）にて3分岐され、一つは主信号系（光受信部76）に、他の二つはそれぞれ、波長分散と偏波モード分散とのモニタに用いられるようになっている。

さらに、モニタ系光信号はそれぞれ、受光器 7 8 A, 7 8 B において受光され、電気段で異なる中心波長  $f_{\text{GVD}}$ ,  $f_{\text{PMD}}$  (H z) の狭帯域バンドパスフィルタ 7 9 B, 7 9 A にて、それぞれ、異なる周波数成分が抽出されて、強度検出器 8 0 B, 8 0 A にてモニタ値が検出される。なお、  
5 各モニタ系統はそれぞれ、1 種類の周波数値が使用されているので、検出形式 1 が使用されていることになる。

また、図 5 6 は本発明の第 3 実施形態の第 1 変形例にかかる光伝送システムのブロック図であり、図 5 5 を波長分散と偏波モード分散とを同時に補償するループまで着目した場合の構成を示したものである。また、  
10 この図 5 6 中で、図 5 5 と同じ符号を付したものは、同一または同様なものを表す。ここで、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 はそれぞれ可変型であって、波長分散補償量および偏波モード分散補償量が、システム稼働中、常時、最適値制御できるようになっている。また『分散』という単語は、本変形例でも、『分散』という単語を、『偏  
15 波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用する  
こととする。NR Z 方式の場合、 $f_{\text{GVD}} = 40 \text{ GHz}$  強度が極小に、 $f_{\text{PMD}} = 20 \text{ GHz}$  強度が極大になるように制御すればよい。これにより、互いに依存性があつたとしても、それぞれの制御を同時かつ独立に行なうようにできる。

20 この図 5 6 に示す強度検出器 8 0 A, 8 0 B の出力はそれぞれ、CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B に入力されており（検出形式 1）、これらの CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B が、図 5 5 の同時モニタ法を用い、偏波モード分散制御部及び波長分散制御部として機能して、受信端に配置した波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 とをフィードバック制御する  
25 ようになっている。

そして、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード



分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はなく、例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

- 5       なお、この偏波モード分散量と波長分散量との制御方法はそれぞれ、第1関数と第2関数とを用いた制御態様1を使用することも可能である。また、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御の切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード
- 10       分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

- さらに、偏波モード分散補償器および波長分散補償器は、CPU 23
- 15       9A, 239Bにより制御されているが、これに限らず、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、CPU 239A, 239Bの前後にA/D変換器（図示省略）やD/A変換器（図示省略）を挿入する場合もあり得る。

- 20       なお、電気段で抽出した2つの異なる周波数成分のどちらか一方、もしくは両方が、主信号系のタイミング抽出に用いられるようにしてもよい。

#### （D2）第3実施形態の第2変形例の説明

- また、信号分岐は、電気段にて行なうようにすることができる。図5
- 7は本発明の第3実施形態の第2変形例にかかる光伝送システム70B
- 25       のブロック図であるが、この図57に示す光伝送システム70Bは、光送信機72と、光受信機77Bとが光伝送路73を介して接続されてお

り、補償量モニタ装置 9 2 B が受信側に設けられている。そして、この光受信機 7 7 B は、受光器 7 8 C を有し、また、補償量モニタ装置 9 2 B は、バンドパスフィルタ 7 9 A, 7 9 B と、強度検出器 8 0 A, 8 0 B とを有する。周波数設定例としては、B (G b / s) NR Z 信号の場合、 $f_{\text{GVD}} = B$  (G H z)、 $f_{\text{PMD}} = B / 2$  (G H z) であるが、これ  
5 以外の値を用いることもできる。

そして、受信端において、信号光は、光受信機 7 7 B 内の受光器 7 8 C にて受光されて電気段にて 3 分岐される。一つは主信号系として光受信部 7 6 b へ入力され、他の二つはそれぞれ、波長分散と偏波モード分散とのモニタに用いられるようになっている。さらに、モニタ系光信号はそれぞれ、受光器 7 8 A, 7 8 B において受光され、電気段で異なる中心波長  $f_{\text{GVD}}$ ,  $f_{\text{PMD}}$  (H z) の狭帯域バンドパスフィルタ 7 9 B, 7 9 A にて、それぞれ、異なる周波数成分が抽出されて、強度検出器 8 0 B, 8 0 A にてモニタ値が検出される。これにより、検出形式 1 がと  
10 られていることになる。

また、図 5 8 は本発明の第 3 実施形態の第 2 変形例にかかる光伝送システムのブロック図であるが、波長分散と偏波モード分散とを同時に補償するループまで着目した場合の構成が示されている。ここで、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 はそれぞれ可変型であって、  
20 波長分散補償量および偏波モード分散補償量が、システム稼働中、常時、最適値制御できるようになっている。また、この図 5 8 中で図 5 7 と同じ符号を付したものは、同一または同様なものを表す。さらに、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用するものとする。

25 この図 5 8 に示す強度検出器 8 0 A, 8 0 B の出力はそれぞれ、CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B に入力されており、これらの CPU 2 3 9 A, 2

3 9 Bが、図 5 7 の同時モニタ法を用い、偏波モード分散制御部及び波長分散制御部として機能して、受信端に配置した波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 とをフィードバック制御するようになっている。

5       なお、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はなく、例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

10       また、それぞれの補償器のフィードバック制御においては、制御態様 2 により、極大値もしくは極小値に制御すればよいため、互いに依存性があったとしても、それぞれの制御を同時かつ独立に行なうようにするのである。例えば、4 0 G b / s N R Z 方式の場合、 $f_{\text{cvd}} = 4 0 \text{ GHz}$  強度が極小に、 $f_{\text{PMD}} = 2 0 \text{ GHz}$  強度が極大になるように制御すればよい。なお、制御態様 1 を用いて、モニタ値を絶対値に制御するよう

15       にしてもよい。

      また、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

20       

      さらに、偏波モード分散補償器及び波長分散補償器は、CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B により制御されているが、これに限らず、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、C

25

P U 2 3 9 A, 2 3 9 Bの前後にA/D変換器（図示省略）やD/A変換器（図示省略）を挿入する場合もあり得る。

5       なお、電気段で抽出した2つの異なる周波数成分のどちらか一方、もしくは両方が、主信号系のタイミング抽出に用いられるようにしてもよい。

### （D3）第3実施形態の第3変形例の説明

図59は本発明の第3実施形態の第3変形例にかかる光伝送システムのブロック図であるが、この図59に示す光伝送システム70Cは、光送信機72Cと、光受信機77Cとが光伝送路73を介して接続されており、分散補償制御装置71Cが受信側に設けられている。

10       そして、光送信機72Cは、信号光源8Cと、波長分散補償量可変型の波長分散補償器4C（図59では、Txと表示されている）を有する。波長分散等化器として、信号光源8Cは、波長可変なレーザダイオード等が用いられ、波長分散補償器4Cにおいて伝送路の波長分散に応じて、  
15       信号光波長の最適化が行なわれる。また、光受信機77Cは、偏波モード分散補償量可変型の偏波モード分散補償器74と、光受信部76とを有し、システム稼働中、常時、最適値制御できるようになっている。なお、この図59中で用いられる符号で、上記の図58中で用いられたもの  
20       と同一の符号を付したものは、同一なものあるいは同様な機能を有する。さらに、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用する  
25       こととする。またシステム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はない。例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

また、この制御方法は、制御態様 2 を用いて、分散補償制御装置 7 1 C が、第 2 強度検出部（強度検出器 8 0 B）で検出された第 2 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 をフィードバック制御する方法をとっている。これにより、極大値もしくは極小値に制御すればよいため、互いに依存性があつたとしても、それぞれの制御を同時かつ独立に行なうことができる。例えば、40 Gb/s NRZ 方式の場合、 $f_{\text{cvd}} = 40 \text{ GHz}$  強度が極小に、 $f_{\text{pmd}} = 20 \text{ GHz}$  強度が極大になるように制御すればよい。なお、制御態様 1 によって、モニタ値を絶対値に制御するようにしてもよい。

また、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

さらに、偏波モード分散補償器及び波長分散補償器は、CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B により制御されているが、これに限らず、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、CPU 2 3 9 A, 2 3 9 B の前後に A/D 変換器（図示省略）や D/A 変換器（図示省略）を挿入する場合もあり得る。

なお、その他のもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一又は同様な機能を有するものなので、更なる説明を省略する。また、ここでは図 5 7 に対応した方式の同時モニタ法が用いられているが、これに限らず、図 5 3 や図 5 5 に対応した方式の同時モニタ法を使用する

ことができる。

(D 4) 第 3 実施形態の第 4 変形例の説明

図 6 0 は本発明の第 3 実施形態の第 4 変形例にかかる分散補償制御装置が適用される光伝送システムの構成を示すブロック図であり、第 3 実施形態にかかる分散補償制御装置に比して、波長分散補償部 8 3 及び偏波モード分散補償部 7 4 に入力するパラメータ情報が最適化されるようになっているところが異なる。

すなわち、この図 6 0 に示す光伝送システム 2 7 1 A は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 7 2 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 7 7 とが光伝送路（伝送ファイバ）7 3 を介して接続されたものである。ここで、光送信機 7 2，光送信機 7 3，光受信機 7 7 はそれぞれ、前述したものと同様なものであるので、更なる説明を省略する。さらに、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用する

また、受信側に分散補償制御装置 2 4 5 が設けられており、この分散補償制御装置 2 4 5 は、第 3 実施形態にかかる分散補償制御装置 7 1 と同様のもの、すなわち、受光器 7 8，バンドパスフィルタ 7 9 A，7 9 B，強度検出器 8 0 A，8 0 B，パラメータ設定回路 8 2，波長分散補償量設定回路 8 2 B をそなえとともに、補償量最適化制御部 2 4 6 a，2 4 6 b をそなえて構成されている。ここで、受光器 7 8，バンドパスフィルタ 7 9 A，7 9 B，強度検出器 8 0 A，8 0 B，パラメータ設定回路 8 2，波長分散補償量設定回路 8 2 B はそれぞれ、第 3 実施形態におけるものと同様の機能及び構成を有するものであるので、更なる説明は省略する。これにより、検出形式 1 がとられていることになる。

この補償量最適化制御部 2 4 6 a，2 4 6 b はそれぞれ、システム稼

働中に偏波モード分散及び波長分散を補償する際のフィードバック制御を自動的に行なうものであり、制御態様 2 が使用されている。また、補償量最適化制御部 246a, 246b はそれぞれ、パラメータ設定回路 82, 波長分散補償量設定回路 82B から出力されるパラメータ設定制御信号及び波長分散補償量制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、第 1 強度検出部（強度検出器 80A, 80B）からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 82, 波長分散補償量設定回路 82B におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量及び波長分散補償量を最適化するものであり、バンドパスフィルタ 272a, 272b, 位相比較回路 273a, 273b, 低周波発振器 274a, 274b 及び低周波重畳回路 275a, 275b をそなえて構成されている。これらのバンドパスフィルタ 272a, 272b, 位相比較回路 273a, 273b, 低周波発振器 274a, 274b 及び低周波重畳回路 275a, 275b は、上記の第 1 実施形態の第 5 変形例にて説明したバンドパスフィルタ 32, 位相比較回路 33, 低周波発振器 34 及び低周波重畳回路 35 とそれぞれ同様なものであるため、更なる説明を省略する。

そして、補償量最適化制御部 246a, 246b は、光伝送路 73 を介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分の強度を極大値に自動的に固定するために、波長分散補償器 83 で与える波長分散補償量及び偏波モード分散補償器 74 で与える遅延量  $\Delta\tau$  にそれぞれ低周波  $f_0$  (Hz) で微小変調を行なうようになっている。また、システム稼働中は、光伝送路 73 の経時変化に対して、波長分散補償量及び偏波モード遅延量  $\Delta\tau$  を常に最適値に保つために、トラッキング制御を行ない、このトラッキング制御の一例

として、偏波モード分散を補償する際のフィードバック制御を、遅延量  $\Delta \tau$  を極大点  $\Delta \tau_0$  の周辺で微小変化させて（ディザリングさせて）、新しい極大点を検出することによって、自動的に求めるようにしている。また、波長分散を補償する際のフィードバック制御を、波長分散補償量を極大点の周辺で微小変化させて、新しい極大点を検出することによって、自動的に求めるようにしている。また、この補償量最適化制御部 246a, 246b によるフィードバック制御の方法は、上述したものと同様であるので、更なる説明を省略する。

なお、制御態様 2 の代わりに制御態様 1 をとってもよい。また、図示は省略するが、システム稼働前に、偏波モード分散補償量及び波長分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるための、偏波モード分散量検出部及び波長分散検出部と、強度検出器 80A, 80B の出力を切り換えるスイッチとを設けて構成することもできる。

このような構成によって、この光伝送システム 271A においては、光送信機 72 から送信された伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) の光信号は光伝送路 73 を介して光受信機 77 に伝送される。そして、伝送される光信号に生じた波長分散及び偏波モード分散を補償すべく、光分岐部 75 により、光伝送路 73 を介して伝送される光信号の一部が取り出され、取り出された光信号（モニタ光）が分散補償制御装置 245 に送出される。そして、光分岐部 75 により取り出された光信号は受光器 78 にて O/E 変換されてから 2 分岐され、バンドパスフィルタ 79A, 79B にそれぞれ入力される。これらのバンドパスフィルタ 79A では、ベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分 [ $B/2$  (Hz) 成分] が検出されるとともに、バンドパスフィルタ 79B では、ベースバンドスペクトル中の第 2 特定周波数成分 [ $B$  (Hz) 成分] が検出される（特定周波数成分検出ステップ）。続いて、強度検出器 80A, 80B により、バン



ドパスフィルタ 7 9 A, 7 9 B にて検出された上記第 1 特定周波数成分及び第 2 特定周波数成分の強度が検出される（強度検出ステップ）。

5 続いて、補償量最適化制御部 2 4 6 a においては、強度検出器 8 0 A からの第 1 特定周波数成分の強度に含まれる低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 8 2 におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量が最適化される。そして、パラメータ設定制御信号が、補償量最適化制御部 2 4 6 a の低周波重畳回路 2 7 5 a を介して光受信機 7 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 7 4 に対して出力され、偏波モード分散補償器 7 4 では、この  
10 パラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。なお、パラメータ設定回路 8 2 では、位相比較回路 2 7 3 a による位相比較の結果得られる信号の符号を検出することによって、遅延量  $\Delta \tau$  が正負のいずれの方向にずれているかが判別される  
15 ので、 $B/2$  (Hz) 成分中の  $f_0$  成分強度変調成分がなくなる方向に遅延量  $\Delta \tau$  を変化させるためのパラメータ設定制御信号が生成されて出力される。さらに、低周波重畳回路 2 7 5 a は、パラメータ設定回路 8 2 からのパラメータ設定制御信号に低周波発振器 2 7 4 a からの低周波信号 ( $f_0$  [Hz] 信号) を重畳して出力している。

20 同様に、補償量最適化制御部 2 4 6 b においては、強度検出器 8 0 B からの第 2 特定周波数成分の強度に含まれる低周波信号成分が零となるように、波長分散補償量設定回路 8 2 B における波長分散補償量を制御することにより、上記伝送光信号の波長分散補償量が最適化される。

また、本発明の第 3 実施形態の第 4 変形例にかかる分散補償制御装置  
25 2 4 5 において、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分及び第 2 特定周波数成分の強度を検出して、検出された

第1 特定周波数成分の強度から、所定の第1 関数演算を行なうことにより伝送光信号の偏波モード分散量を検出することにより、伝送光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出できるとともに、第2 特定周波数成分の強度から、所定の第2 関数演算を行なうことにより伝送光信号の波長分散補償量を検出することにより、伝送光信号に生じた波長分散量を簡便に検出することができる。

またこのようにして、システム稼働中は、光伝送路2 3の経時変化に対して、遅延量 $\Delta \tau$ が常に最適値に保たれるほか、偏波モード分散量及び波長分散量を検出し、検出されたそれぞれの量に基づいて、伝送光信号に生じた各パラメータ情報を設定することにより、偏波モード分散及び波長分散量とを補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送を行なうために寄与できる利点がある。さらに、補償量最適化制御部2 4 6 a, 2 4 6 bをそなえているので、伝送光信号の偏波モード分散及び波長分散量の補償量を最適化することができる。とともに、偏波モード分散及び波長分散を補償する際のフィードバック制御が自動的に行なえることができる。

#### (D 5) 第3 実施形態の第5 変形例の説明

電気段にてタイミング抽出を行なうような構成にすることも可能である。図6 1は、本発明の第3 実施形態の第5 変形例にかかる光伝送システムの構成であるが、この図6 1に示す受信側の分散補償制御装置7 0'は、タイミング抽出部8 4を有する。その他のもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一又は同様な機能を有するものなので、更なる説明を省略する。さらに、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用するものとする。

このタイミング抽出部8 4は、バンドパスフィルタ7 9 A, 7 9 Bの

うち少なくとも1つにて検出された特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出を行なうものであり、これらのバンドパスフィルタ79A, 79Bにて検出された特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出が行なわれ、取り出されたクロック信号は光受信機77の光受信部76に送出される。なお、光受信機76の光受信部76では、識別等に当該クロック信号が用いられる。

このような構成により、受光器78にてO/E変換された受信信号は、バンドパスフィルタ79A, 79Bにて、各周波数成分が検出される。これらの周波数成分は、受信波形に同期した信号であるため、タイミング抽出部84でクロック信号が取り出され、光受信機76に入力されて主信号系のタイミング識別等に用いられる。そして、第3実施形態の第5変形例にかかる分散補償制御装置71'が適用される光伝送システム70'においても、前述した第3実施形態にかかる分散補償制御装置71が適用される光伝送システム70とほぼ同様の動作が行なわれる。

このように、本発明の第3実施形態の第5変形例にかかる分散補償制御装置71'によれば、前述した第4実施形態の場合と同様の利点が得られるほか、タイミング抽出部84によりクロック信号を抽出することにより、光伝送システム70'の光受信機77の機能を向上させることができる。

#### 20 (E) 本発明の第4実施形態の説明

第3実施形態においては、モニタリングする周波数値を2系統得ていたが、これを1系統にして、伝送路の波長分散値と偏波モード分散値とを同時にモニタし、それぞれによる伝送光波形劣化を同時に補償するようにもできる。なお、第4実施形態でも、この『分散』という単語を、  
『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用する

図 6 2 は本発明の第 4 実施形態にかかる光伝送システムのブロック図であるが、この図 6 2 に示す光伝送システム 2 7 0 は、時分割多重方式を採用した伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{ Gb/s}$ 、 $10\text{ Gb/s}$  等) の光通信システムである。この光伝送システム 2 7 0 は、第 3 実施形態にかかる光伝送システム 7 0 と比して、受光器 7 8 の出力にあるバンドパスフィルタが 1 系統となっている点が異なる。その他の点は第 3 実施形態にかかる光伝送システム 7 0 とほぼ同様のものである。

すなわち、この光伝送システム 2 7 0 は、伝送光信号を送信する送信端装置としての光送信機 7 2 と、伝送光信号を受信する受信端装置としての光受信機 7 7 とが光伝送路 (伝送ファイバ) 7 3 を介して接続されており、分散補償制御装置 2 7 1 が受信側に設けられている。ここで、光送信機 7 2、光伝送路 7 3 はそれぞれ、上述したものと同様なものであるので、更なる説明を省略する。

この光受信機 7 7 は、波長分散補償器 8 3 と、偏波モード分散補償器 7 4 と、光分岐部 7 5 と、光受信部 7 5 とをそなえて構成されている。そして、上記の第 3 実施形態と同様に、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 はそれぞれ可変型であって、波長分散補償量および偏波モード分散補償量は、システム稼働中、制御態様 2 によって常時、最適値制御できるようになっている。なお、光分岐部 7 5、光受信部 7 5 はそれぞれ、上述したものと同様のものである。

また、分散補償制御装置 2 7 1 は、光受信機 7 7 内の光分岐部 7 5 により取り出された光信号に基づいて光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じる偏波モード分散の状態及び波長分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結果に応じて偏波モード分散補償器 7 4 及び波長分散補償器 8 3 を制御するものであり、図 6 2 に示すように、受光器 7 8、バンドパスフィルタ (f e B P F) 7 9、強度検出器 8 0、偏波モード分散

量・波長分散量検出部 8 1 C, 波長分散補償量設定回路 8 2 B, パラメータ設定回路 8 2 をそなえて構成されている。ここで、受光器 7 8, バンドパスフィルタ 7 9, 強度検出器 8 0 は、前述した第 3 実施形態におけるものと同様のものである。

- 5       また、偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C は、強度検出器 8 0 にて検出された第 1 特定周波数成分の周波数に基づいて、上記偏波モード分散量及び波長分散量を検出するものである。なお、この第 1 特定周波数成分は、光信号の伝送速度や信号波形に応じて適宜設定されるものであるが、この周波数は、上記伝送光信号が R Z 光信号又は光時分割
- 10   多重信号である場合には、第 1 特定周波数成分検出部（偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C）が、第 1 特定周波数成分として、ビットレート又はビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するとともに、上記伝送光信号が N R Z 光信号である場合には、第 1 特定周波数成分検出部（偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C）が、第 1 特定周波
- 15   数成分として、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するように構成されている。

- さらに、波長分散補償量設定回路 8 2 B は、偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C にて検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3
- 20   をフィードバック制御するものである。そして、これらの偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C と波長分散補償量設定回路 8 2 B とが波長分散制御部 2 4 1 a として機能している。

- すなわち、波長分散制御部 2 4 1 a は、強度検出器 8 0 で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3
- 25   中に設けられた波長分散補償器 8 3 をフィードバック制御するようになっている。すなわち、制御態様 2 がとられている。

さらに、パラメータ設定回路 8 2 は、偏波モード分散量・波長分散量  
検出部 8 1 C にて検出された偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号  
の偏波モード分散を補償するための制御量としてのパラメータ情報を有  
するパラメータ設定制御信号を、光受信機 7 7 内の偏波モード分散補償  
5 器 7 4 に対して出力するものである。そして、これらの偏波モード分散  
量・波長分散量検出部 8 1 C とパラメータ設定回路 8 2 とが、偏波モー  
ド分散制御部 2 4 1 b として機能している。

またこれから、分散補償制御装置 2 7 1 は、伝送路としての伝送ファ  
イバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペ  
10 クトル中の第 1 特定周波数成分を検出する第 1 特定周波数成分検出部（  
バンドパスフィルタ 7 9）と、第 1 特定周波数成分検出部（バンドパス  
フィルタ 7 9）にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度について  
の情報を検出する第 1 強度検出部（強度検出器 8 0）と、第 1 強度検出  
部（強度検出器 8 0）で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大と  
15 なるように、伝送路（光伝送路 7 3）の偏波モード分散量を制御する偏  
波モード分散制御部（偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C とパ  
ラメータ設定回路 8 2）と、第 1 強度検出部（強度検出器 8 0）で検出  
された第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、伝送路（光伝送  
路 7 3）の波長分散量を制御する波長分散制御部（偏波モード分散量・  
20 波長分散量検出部 8 1 C と波長分散補償量設定回路 8 2 B）とをそなえ  
て構成されることになる。

これにより、図 6 2 に示す第 4 実施形態にかかる分散補償制御装置 2  
7 1 においての信号の流れは、次のようになる。

光分岐部 7 5 により取り出された光信号は、まず、受光器 7 8 におい  
25 て受光されて、電気信号に O/E 変換されてバンドパスフィルタ 7 9 に  
入力され、バンドパスフィルタ 7 9 において、伝送光信号におけるベー

スバンドスペクトル中の第1特定周波数成分〔 $f_e$  (Hz) 成分〕が検出され、強度検出器80において、バンドパスフィルタ79にて検出された上記第1特定周波数成分の強度が検出される。

ここで、偏波モード分散量・波長分散量検出部81Cにおいて、強度  
5 検出器80にて検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、上記伝送光信号の偏波モード分散量及び波長分散量が検出され、パラメータ設定回路82により、伝送光信号の偏波モード分散を補償すべく、偏波モード分散量・波長分散量検出部81Cにて検出された偏波モード分散量を相殺するようなパラメータ情報（遅延量 $\Delta\tau$ 及び光強度分岐比 $\gamma$ ）を設定するためのパラメータ設定制御信号が、光受信機77内に設けられた偏波モード分散補償器74に対して出力されるとともに、波長分散補償量設定回路82Bにより、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、偏波モード分散量・波長分散量検出部81Cにて検出された  
10 上記波長分散量に基づいて、光伝送路73中に設けられた波長分散補償器83に対して、波長分散制御量を設定するための制御信号が出力される。ここで、例えば、40Gb/s NRZ方式の場合、 $f_{GVD} = 40$  GHz 強度が極小に、 $f_{PMD} = 20$  GHz 強度が極大になるように制御されている。

一方、偏波モード分散補償器74では、このパラメータ設定制御信号  
20 を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路73を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償されるとともに、波長分散補償器83では、この制御信号を受けると、当該制御信号に基づいて光伝送路73を伝送する光信号に生じた波長分散が補償される。

25 このように、極大値もしくは極小値に制御するようにして、それぞれの制御を同時かつ独立に行なえるようになる。

なお、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 の制御方法については、制御態様 1 でもよく、それぞれのモニタ値を絶対値に制御することができる。すなわち、この波長分散制御部 2 4 1 a が、第 1 強度検出部（強度検出器 8 0）で検出された第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定するように構成することもできる。

この場合は、偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C は、第 1 強度検出部（強度検出器 8 0）にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度から、所定の第 2 関数による演算を行なうことにより上記伝送光信号の波長分散量を検出するとともに、強度検出器 8 0 にて検出された第 1 周波数成分の強度から、所定の第 1 関数演算を行なうことにより上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出し、そして、波長分散補償量設定回路 8 2 B は、波長分散量検出部（偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C）にて検出された上記波長分散量に基づいて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定するように構成すればよい。

なお、分散補償制御装置 2 7 1 は、この図 6 2 に示す強度検出器 8 0 が検出した上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成することもできる。

また、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はない。例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

さらに、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれ



の制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

さらに、偏波モード分散補償器及び波長分散補償器は、CPU 239 A, 239 Bにより制御されているが、これに限らず、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、CPU 239 A, 239 Bの前後にA/D変換器（図示省略）やD/A変換器（図示省略）を挿入する場合もあり得る。

このような構成により、第4実施形態にかかる分散補償制御装置271が適用される光伝送システム270においても、前述した第3実施形態にかかる分散補償制御装置71が適用される光伝送システム70とほぼ同様の動作が行なわれる。すなわち、この分散補償制御ステップは、伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分が検出され（第1特定周波数成分検出ステップ）、第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報が検出され（第1強度検出ステップ）、第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大となるように、光伝送路73の偏波モード分散量が制御され（偏波モード分散制御ステップ）、第1強度検出ステップで検出された第1特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、光伝送路73の波長分散量が制御される（波長分散制御ステップ）ようになっている。

このように、本発明の第4実施形態にかかる分散補償制御装置271によれば、前述した第3実施形態の場合と同様の利点が得られる。

## (E 1) 第 4 実施形態の第 1 変形例の説明

第 4 実施形態において、電気段で抽出した 2 つの異なる周波数成分の  
どちらか一方、もしくは両方を、主信号系のタイミング抽出に用いる構  
成にしてもよい。図 6 3 は本発明の第 4 実施形態の第 1 変形例にかかる  
5 光伝送システムのブロック図であるが、この図 6 3 に示す分散補償制御  
装置 7 0 A は、タイミング抽出部 8 4 を具備した場合の構成であるが、  
このタイミング抽出部 8 4 からの信号が、光受信部 6 へと入力され、主  
信号系のタイミングがとられる。

この図 6 3 に示す光伝送システム 7 0 A も、時分割多重方式を採用し  
10 た伝送速度  $B$  ( $b/s$ ) (例えば  $40\text{ Gb/s}$ 、 $10\text{ Gb/s}$  等) の光  
通信システムである。この光伝送システム 7 0 A は、第 4 実施形態にお  
ける光伝送システム 2 7 0 と比して、タイミング抽出部 8 4 が設けられ  
ている点が異なるが、それ以外の点は第 4 実施形態にかかる光伝送シ  
ステム 2 7 0 とほぼ同様のものである。さらに、本変形例でも、『分散』  
15 という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含  
んだ意味で使用するものとする。

すなわち、分散補償制御装置 7 1 A は、光分岐部 7 5 により取り出さ  
れた光信号に基づいて光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じる偏波モー  
ド分散の状態及び波長分散の状態をモニタするとともに、そのモニタ結  
20 果に応じて偏波モード分散補償器 7 4 及び波長分散補償器 8 3 を制御す  
るものであり、図 6 2 に示すように、受光器 7 8、バンドパスフィルタ  
( $f e \text{ BPF}$ ) 7 9、強度検出器 8 0、偏波モード分散量・波長分散  
量検出部 8 1 C、パラメータ設定回路 8 2、波長分散補償量設定回路 8  
2 B 及びタイミング抽出部 8 4 をそなえて構成されている。

25 ここで、受光器 7 8、強度検出器 8 0、パラメータ設定回路 8 2 及び  
波長分散補償量設定回路 8 2 B は、前述した第 4 実施形態におけるもの

と同様の機能及び構成を有するものである。また検出形式 1 がとられている。

また、バンドパスフィルタ 7 9 は、光伝送路 7 3 を介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分〔 $f_e$  (Hz) 成分〕を検出するものである。なお、この第 1 特定周波数成分は、光信号の伝送速度や信号波形に応じて適宜設定されるものであるが、図 6 2 に示す光伝送システム 7 0 A では、偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C にて上記偏波モード分散量及び波長分散量を検出する際に用いられる第 1 特定周波数成分の周波数は、ビットレートに相当する周波数に設定されている。

さらに、偏波モード分散量・波長分散量検出部 8 1 C は、前述した第 4 実施形態における偏波モード分散量検出部 8 1 及び波長分散量検出部 8 1 B としての機能を有するものである。

つまり、分散補償制御装置 7 1 A は、強度検出器 8 0 にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度から、前述したような所定の第 2 関数演算を行なうことにより伝送光信号の波長分散量を検出する波長分散量検出部と、波長分散量検出部にて検出された波長分散量に基づいて、伝送光信号の波長分散を補償すべく、光伝送路 7 3 中に設けられた波長分散補償器 8 3 に対して波長分散制御量を設定する波長分散補償量設定回路 8 2 B とをそなえて構成されることになる。

なお、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 の制御方法については、制御態様 1 でもよい。また、CPU の前後に A/D 変換器（図示省略）や D/A 変換器（図示省略）を挿入することによって、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可

変」である必要はない。例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。さらに、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

また、タイミング抽出部 8 4 は、バンドパスフィルタ 7 9 にて検出された特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出を行なうものであり、PLL 等が用いられる。そして、バンドパスフィルタ 7 9 にて検出された特定周波数成分に基づいて、受信信号のタイミング抽出が行なわれ、取り出されたクロック信号は光受信機 7 7 の光受信部 7 6 に送出される。なお、光受信機 7 6 の光受信部 7 6 では、識別等に当該クロック信号が用いられる。

すなわち、 $f_e$  (Hz) 成分は受信波形に同期した信号であるため、タイミング抽出部 8 4 でクロック信号を取り出し、光受信機 7 6 における識別等に用いることができる。

このような構成により、第 4 実施形態の第 1 変形例にかかる分散補償制御装置 7 1 A が適用される光伝送システム 7 0 A においても、前述した第 4 実施形態にかかる分散補償制御装置 2 7 1 が適用される光伝送システム 2 7 0 とほぼ同様の動作が行なわれる。

このように、本発明の第 4 実施形態の第 1 変形例にかかる分散補償制御装置 7 1 A によれば、前述した第 4 実施形態の場合と同様の利点を得られるほか、タイミング抽出部 8 4 によりクロック信号を抽出すること

により、光伝送システム 7 0 A の光受信機 7 7 の機能を向上させることができる。

(E 2) 第 4 実施形態の第 2 変形例の説明

- 図 6 4 は本発明の第 4 実施形態の第 2 変形例にかかる光伝送システムのブロック図であるが、バンドパスフィルタを 1 系統にしたところが異なる。すなわち、第 3 実施形態の第 4 変形例に対応して図 6 0 の分散補償制御装置 2 4 5 に比して、受光器 7 8 の出力が、バンドパスフィルタ〔f e B P F〕7 9 にのみ出力されるようになっているところが異なる。
- すなわち、この図 6 4 に示す光伝送システム 2 7 1 B は、光送信機 7 2、光受信機 7 7、光伝送路（伝送ファイバ）7 3 をそなえるほか、分散補償制御装置 2 4 7 をそなえて構成されており、この分散補償制御装置 2 4 7 は、受光器 7 8、バンドパスフィルタ〔f e B P F〕7 9、強度検出器 8 0、パラメータ設定回路 8 2、波長分散補償量設定回路 8 2 B、補償量最適化制御部 2 4 6 a、2 4 6 b をそなえて構成されている。ここで、受光器 7 8、バンドパスフィルタ 7 9、強度検出器 8 0、パラメータ設定回路 8 2、波長分散補償量設定回路 8 2 B、パラメータ設定回路 8 2、波長分散補償量設定回路 8 2 B、補償量最適化制御部 2 4 6 a、2 4 6 b はそれぞれ、上述したものと同様の機能及び構成を有するものであるので、更なる説明は省略する。また、この補償量最適化制御部 2 4 6 a、2 4 6 b はそれぞれ、バンドパスフィルタ 2 7 2 a、2 7 2 b、位相比較回路 2 7 3 a、2 7 3 b、低周波発振器 2 7 4 a、2 7 4 b 及び低周波重畳回路 2 7 5 a、2 7 5 b をそなえて構成されている。これらのバンドパスフィルタ 2 7 2 a、2 7 2 b、位相比較回路 2 7 3 a、2 7 3 b、低周波発振器 2 7 4 a、2 7 4 b 及び低周波重畳回路 2 7 5 a、2 7 5 b 重畳回路 3 5 は、上述したものと同様なものの

で、更なる説明を省略する。

また、本変形例でも、この『分散』という単語を、『偏波モード分散』と『波長分散』との両方の意味を含んだ意味で使用するものとする。

5      なお、図示は省略するが、システム稼働前に、偏波モード分散補償量及び波長分散補償量を示すパラメータ情報の最適値を求めるための、偏波モード分散量検出部及び波長分散検出部と、強度検出器 80 の出力を切り換えるスイッチとを設けて構成することもできる。

10      また、CPUの前後にA/D変換器（図示省略）やD/A変換器（図示省略）を挿入することによって、同期検波等を用いたアナログ回路による制御方法を用いることも可能である。また、システム稼働開始時のみに波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値設定する場合は、必ずしもそれぞれの補償器は「可変」である必要はない。例えば、分散補償ファイバやファイバグレーティング型分散補償器等の「固定」分散補償器を挿入するようにしてもよい。

15      また、この制御方法は、制御態様 2 を用いているが、制御態様 1 を使用してもよい。さらに、システム稼働中、常時、波長分散補償量および偏波モード分散補償量を最適値制御する場合の制御切り換え方法は、上記のそれぞれの制御を独立に時間的に並行して行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが独立して  
20      実行される方法をとってもよい。あるいは、時間的に重ならないように、時系列的に行なう方法、すなわち、上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが時系列的に実行される方法をとってもよい。

25      このような構成によって、この光伝送システム 271B においては、光送信機 72 から送信された伝送速度  $B$  (b/s) の光信号は光伝送路 73 を介して光受信機 77 に伝送される。そして、伝送される光信号に

生じた波長分散及び偏波モード分散を補償すべく、光分岐部 7 5 により、光伝送路 7 3 を介して伝送される光信号の一部が取り出され、取り出された光信号（モニタ光）が分散補償制御装置 2 4 7 に送出される。そして、光分岐部 7 5 により取り出された光信号は受光器 7 8 にて O/E 変換されてから、バンドパスフィルタ 7 9 に入力される。このバンドパスフィルタ 7 9 では、ベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分（ $f_e$  (Hz) 成分）が検出される（特定周波数成分検出ステップ）。続いて、強度検出器 8 0 により、バンドパスフィルタ 7 9 にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度が検出される（強度検出ステップ）。  
10       続いて、補償量最適化制御部 2 4 6 a においては、強度検出器 8 0 からの第 1 特定周波数成分の強度に含まれる低周波信号成分が零となるように、パラメータ設定回路 8 2 におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量が最適化される。そして、パラメータ設定制御信号が、補償量最適化制御部 2 4 6 a の低周波重畳回路 2 7 5 a を介して光受信機 7 7 内に設けられた偏波モード分散補償器 7 4 に対して出力され、偏波モード分散補償器 7 4 では、この  
15       パラメータ設定制御信号を受けると、当該制御信号に基づいてパラメータ情報が設定され、光伝送路 7 3 を伝送する光信号に生じた偏波モード分散が補償される。なお、パラメータ設定回路 8 2 では、位相比較回路 2 7 3 a による位相比較の結果得られる信号の符号を検出することによって、遅延量  $\Delta \tau$  が正負のいずれの方向にずれているかが判別されるので、 $B/2$  (Hz) 成分中の  $f_o$  (Hz) 強度変調成分がなくなる方向に遅延量  $\Delta \tau$  を変化させるためのパラメータ設定制御信号が生成されて出力される。さらに、低周波重畳回路 2 7 5 a は、パラメータ設定回路  
20       8 2 からのパラメータ設定制御信号に低周波発振器 2 7 4 a からの低周波信号（ $f_o$  (Hz) 信号）を重畳して出力している。

同様に、補償量最適化制御部 2 4 6 b においては、同じく強度検出器 8 0 からの第 1 特定周波数成分の強度に含まれる低周波信号成分が零となるように、波長分散補償量設定回路 8 2 B における波長分散補償量を制御することにより、上記伝送光信号の波長分散補償量が最適化される。

5       このように、本発明の第 4 実施形態の第 2 変形例にかかる分散補償制御装置 2 4 7 によれば、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分の強度を検出して、検出された第 1 特定周波数成分の強度から、所定の第 1 関数演算を行なうことにより伝送光信号の偏波モード分散量を検出することにより、伝送光信号に生じた偏波モード  
10      分散を簡便に検出することができる。

またこのようにして、システム稼働中は、光伝送路 7 3 の経時変化に対して、遅延量  $\Delta \tau$  が常に最適値に保たれるほか、偏波モード分散量及び波長分散量を検出し、検出されたそれぞれの量に基づいて、伝送光信号に生じた各パラメータ情報を設定することにより、偏波モード分散及び波長分散量とを補償して光信号の伝送波形の劣化を防ぐことができ、  
15      高速光信号の長距離伝送を行なうために寄与する利点がある。さらに、補償量最適化制御部 2 4 6 a, 2 4 6 b をそなえているので、伝送光信号の偏波モード分散及び波長分散量の補償量を最適化することができるとともに、偏波モード分散及び波長分散を補償する際のフィードバック  
20      制御が自動的に行なえることができる。

#### (F) その他

上述した上述した第 3 実施形態及び第 3 実施形態の各変形例と、第 4 変形例並びに第 4 実施形態の各変形例の制御方法は、偏波モード分散と波長分散との両方が同一の制御態様 2 或いは制御態様 1 による制御をと  
25      っていた。しかし、これらを、混在させて制御を行なうことも可能である。すなわち、偏波モード分散制御は、制御態様 1 をとって、波長分散



制御は制御態様 2 をとるというやり方でもよく、逆に、偏波モード分散制御は、制御態様 2 をとって、波長分散制御は制御態様 1 をとるというやり方をとって制御は可能となる。また、補償量最適化制御を行なう際の制御方法も、制御態様 1 を用いてもよい。さらに、第 3 実施形態及びその変形例並びに第 4 実施形態及びその変形例では、波長分散補償器 8 3 と偏波モード分散補償器 7 4 との位置を入れ換えても実施可能である。

さらに、第 2 実施形態における偏波モード分散制御において、 $\gamma$  と  $\Delta \tau_c$  の制御及び  $\alpha \cdot \beta$  と  $\Delta \tau_c$  との制御に関しても同様に 2 種類の制御態様を混在して制御を行なうことができる。また、所定の制御値を見つけるために、制御態様 1 と制御態様 2 とを組み合わせてもよく、まず、大きく制御態様 1 によって所定の制御値の近傍の値を得た後に、制御態様 2 によってその近傍から極値を探索するような制御態様をとってもよい。これらを、次の (1), (2) に示す。

15 (1)  $\gamma$  と  $\Delta \tau_c$  の制御

第 1 実施形態において、光強度分岐光  $\gamma$  は、送信側でのみ制御可能であって、このような制御可能な構成は、図 1 9, 2 1, 2 7 ~ 3 0 に示した構成である。これらの構成においては、 $\gamma$  と  $\Delta \tau_c$  をそれぞれ制御態様 1 によって制御量を求めているが、 $\gamma$  は制御態様 1 かつ  $\Delta \tau_c$  は制御態様 2、又は、 $\gamma$  は制御態様 2 かつ  $\Delta \tau_c$  は制御態様 1、又は、 $\gamma$  と  $\Delta \tau_c$  がそれぞれ制御態様 2 を用いるようにして制御を行なうこともできる。また、大きく制御態様 1 によって所定の制御値の近傍の値を得た後に、制御態様 2 によってその近傍から極値を探索するような制御態様をとってもよい。

25 (2)  $\alpha, \beta$  と  $\Delta \tau_c$  の制御

同様に、第 2 実施形態における制御は、 $\alpha, \beta$  と  $\Delta \tau_c$  はそれぞれ制

御態様 2 によって制御量を求めているが、 $\alpha$ 、 $\beta$ は制御態様 2 のままで  $\Delta \tau_c$  が制御態様 1 を用いこともできる。また、大きく制御態様 1 によって所定の制御値の近傍の値を得た後に、制御態様 2 によってその近傍から極値を探索するような制御態様をとってもよい。

- 5       また、上述した各実施形態及び各変形例においての検出周波数値は、RZ 信号、OTDM 信号に対しては  $f_e = B$  (Hz) を、また、NRZ 信号に対しては  $f_e = B/2$  (Hz) を使用している。この周波数値は、バンドパスフィルタで抽出される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分として、伝送光信号におけるベースバンド
- 10       スペクトルの成分が時間的に安定して得られる周波数であれば、その他の周波数を設定することもできる。

- さらに、特定周波数が、ビットレートの  $1/2$  に相当する周波数に設定された場合には、上述した各実施形態及び各変形例における伝送光信号は、NRZ 信号のほか、RZ 光信号、光時分割多重信号を含むあらゆる光変調方式が適用可能である。
- 15

- 第 1 実施形態にて説明した遅延量補償器としては、図 5 に示すもののほか、図 6 5 に示すような遅延量補償器 4 A' も用いることができる。ここで、遅延量補償器 4 A' は、遅延量可変の遅延量補償器であり、図 6 5 に示すように、偏波制御器 4 A-2、偏波ビームスプリッタ (PBS : Polarization Beam Splitter) 4 A-5、4 A-6 及び可変光遅延器 4 A-7 をそなえて構成されている。
- 20

- 偏波制御器 4 A-2 は、2 つの伝送路の偏波モード主軸成分が TE、TM 偏波になるように制御するものであり、 $1/4$  波長板 ( $\lambda/4$  板) 4 A-2 1、 $1/2$  波長板 ( $\lambda/2$  板) 4 A-2 2 及びアクチュエータ 4 A-2 3、4 A-2 4 から構成されている。また、偏波ビームスプリッタ 4 A-5 は、偏波制御器 4 A-2 を介して入力された光信号を 2 つ
- 25

に分離するものであり、可変光遅延器 4 A - 7 は、偏波ビームスプリッタ 4 A - 5 で分離された一方の光成分に遅延差を可変に与えるものであり、偏波ビームスプリッタ 4 A - 6 は、偏波ビームスプリッタ 4 A - 5 からの光成分と可変光遅延器 4 A - 7 からの光成分とを合波するものである。

なお、偏波制御器 4 A - 2 を構成するアクチュエータ 4 A - 2 3、4 A - 2 4 及び可変光遅延器 4 A - 7 は、それぞれパラメータ設定回路 1 5 からのパラメータ設定制御信号を受けるようになっており、また、遅延量補償器 4 A' としての最適制御は、偏波制御器 4 A - 2 での偏波方向及び可変光遅延器 4 A - 7 で与える遅延差に対して行なわれる。

さらに、上述した各実施形態においては、偏波モード分散補償器や波長分散補償器が、光送信機又は光受信機に設けられた場合について説明したが、これに限定されず、伝送光信号を中継する中継装置に設けることもできる。このときは、パラメータ設定回路又は波長分散補償量設定回路が、上記中継装置に設けられた偏波モード分散補償器又は波長分散補償器に対して、各制御信号を出力するように構成されることになる。

#### 産業上の利用可能性

以上詳述したように、本発明の偏波モード分散量検出方法によれば、伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の特定周波数成分の強度を検出して、検出された特定周波数成分の強度から、所定の関数演算を行なって伝送光信号の偏波モード分散量を検出することにより、又は、最大値制御により、伝送光信号に生じた偏波モード分散を簡便に検出することができる利点がある。

本発明では、偏波モード分散量を検出し、検出された偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号に生じた偏波モード分散を補償して光信号の

伝送波形の劣化を防ぐことができ、高速光信号の長距離伝送の実現に寄与する。

- 5      また、本発明では、偏波モード分散量を検出し、検出された偏波モード分散量に基づいて、伝送光信号に生じた偏波モード分散を補償するとともに、波長分散量を検出し、検出された波長分散量に基づいて、伝送光信号に生じた波長分散を補償して、偏波モード分散及び波長分散の影響による光信号の伝送波形の劣化を防いで、高速光信号の長距離伝送の実現に寄与する。

## 請 求 の 範 囲

1. 伝送ファイバを介して入力される伝送光信号におけるベースバンド  
スペクトル中の特定周波数成分を検出する特定周波数成分検出ステップ  
5 と、

該特定周波数成分検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の  
強度について検出する強度検出ステップと、

該強度検出ステップにて検出された上記特定周波数成分の強度につい  
ての情報から、所定の関数演算を行なうことにより上記伝送光信号の偏  
波モード分散量を検出する分散量検出ステップとをそなえて構成された  
10 ことを特徴とする、偏波モード分散量検出方法。

2. 該分散量検出ステップにおいて、任意の伝送光信号を構成する光波  
形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数で  
15 あって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータと  
を変数とした関数を用いることにより、上記所定の関数演算を行なうこ  
とを特徴とする、請求の範囲第1項記載の偏波モード分散量検出方法。

3. 該特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波  
20 数を、上記伝送光信号におけるベースバンドスペクトルの成分が時間的  
に安定して得られる周波数に設定されたことを特徴とする、請求の範囲  
第1項記載の偏波モード分散量検出方法。

4. 上記伝送光信号がR Z光信号又は光時分割多重信号である場合には、  
25 該特定周波数成分検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、  
ビットレートに相当する周波数に設定されたことを特徴とする、請求の

範囲第 3 項記載の偏波モード分散量検出方法。

5. 上記伝送光信号があらゆる光変調方式において、該特定周波数成分  
検出ステップにおいて成分が検出される特定周波数を、ビットレートの  
5  $1/2$  に相当する周波数に設定されたことを特徴とする、請求の範囲第  
3 項記載の偏波モード分散量検出方法。

6. 伝送路 (6 a ; 3) としての伝送ファイバを介して受信側に入力され  
る伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分  
10 を検出する第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 1 2) と、

該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 1 2) にて検出された上記第 1  
特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出部 (3  
a ; 1 3) と、

15 該第 1 強度検出部 (3 a ; 1 3) で検出された該第 1 特定周波数成分  
の強度が極大となるように、該伝送路 (6 a ; 3) の偏波モード分散量  
を制御する偏波モード分散制御部 (2 2 0 a ; 9 0) とをそなえて構成  
されたことを特徴とする、分散補償制御装置。

7. 上記伝送光信号が R Z 光信号又は光時分割多重信号である場合には、  
20 該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 1 2) が、該第 1 特定周波数成分  
として、ビットレートに相当する周波数を検出するように構成されたこ  
とを特徴とする、請求の範囲第 6 項記載の分散補償制御装置。

8. 上記伝送光信号があらゆる光変調方式において、該第 1 特定周波数  
25 成分検出部 (2 a ; 1 2) が、該第 1 特定周波数成分として、ビットレ  
ートの  $1/2$  に相当する周波数を検出するように構成されたことを特徴

とする、請求の範囲第 6 項記載の分散補償制御装置。

9. 伝送路 (6 a ; 7 3) としての伝送ファイバを介して受信側に入力  
される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数  
5 成分を検出する第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9 A) と、

該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9 A) にて検出された上記第  
1 特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出部 (3  
a ; 8 0 A) と、

該第 1 強度検出部 (3 a ; 8 0 A) で検出された該第 1 特定周波数成  
10 分の強度が極大となるように、該伝送路 (6 a ; 7 3) の偏波モード分  
散量を制御する偏波モード分散制御部 (2 2 0 a ; 9 1) とをそなえる  
とともに、

該伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 2 特定周波数成  
分を検出する第 2 特定周波数成分検出部 (2 2 2 a ; 7 9 B) と、

15 該第 2 特定周波数成分検出部 (2 2 2 a ; 7 9 B) にて検出された上  
記第 2 特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 2 強度検出部  
(2 2 3 a ; 8 0 B) と、

該第 2 強度検出部 (2 2 3 a ; 8 0 B) で検出された該第 2 特定周波  
数成分の強度が極大又は極小となるように、該伝送路 (6 a ; 7 3) の  
20 波長分散量を制御する波長分散制御部 (2 2 4 a ; 2 4 0) とをそなえ  
て構成されたことを特徴とする、分散補償制御装置。

1 0. 上記伝送光信号が NRZ 光信号である場合には、該第 1 特定周波  
数成分検出部 (2 a ; 7 9 A) が、該第 1 特定周波数成分として、ビット  
25 レートの 1 / 2 に相当する周波数を検出するように構成されるととも  
に、

該第 2 特定周波数成分検出部 (2 2 2 a ; 7 9 B) が、該第 2 特定周波数成分として、ビットレートに相当する周波数を検出するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 9 項記載の分散補償制御装置。

5     1 1. 伝送路 (6 a ; 7 3) としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出する第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9) と、

      該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9) にて検出された上記第 1 特定周波数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出部 (8  
10    0) と、

      該第 1 強度検出部 (3 a ; 8 0) で検出された該第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように、該伝送路 (6 a ; 7 3) の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御部 (2 2 0 a ; 2 4 1 b) と、

      該第 1 強度検出部で検出された該第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、該伝送路 (6 a ; 7 3) の波長分散量を制御する波長分散制御部 (2 2 4 a ; 2 4 1 a) とをそなえて構成されたことを特徴とする、分散補償制御装置。

20    1 2. 上記伝送光信号が R Z 光信号又は光時分割多重信号である場合には、該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9) が、該第 1 特定周波数成分として、ビットレート又はビットレートの 1 / 2 に相当する周波数を検出するとともに、上記伝送光信号が N R Z 光信号である場合には、該第 1 特定周波数成分検出部 (2 a ; 7 9) が、該第 1 特定周波数成分として、ビットレートの 1 / 2 に相当する周波数を検出するように構成  
25    されたことを特徴とする、請求の範囲第 1 1 項記載の分散補償制御装置。



- 1 3. 該偏波モード分散制御部〔(2 2 0 a ; 9 0), (2 2 0 a ; 9  
1), (2 2 0 a ; 2 4 1 b)〕が、該第1強度検出部〔(3 a ; 1 3  
) , (3 a ; 8 0 A), (3 a ; 8 0)〕で検出された該第1特定周波  
数成分の強度が極大となるように、該伝送路〔(6 a ; 3), (6 a ;  
5 7 3), (6 a ; 7 3)〕中に設けられた偏波モード分散補償器〔(7  
a ; 4), (7 a ; 4), (7 a ; 4)〕に対して偏波モード分散制御  
量を設定するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第6、9、  
1 1項のいずれか一項に記載の分散補償制御装置。
- 10 1 4. 該偏波モード分散制御部〔(2 2 0 a ; 9 0), (2 2 0 a ; 9  
1), (2 2 0 a ; 2 4 1 b)〕が、  
任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル  
中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏  
波モード分散量を示すパラメータとを変数とした第1関数を用いること  
15 により、該第1強度検出部〔(3 a ; 1 3), (3 a ; 8 0 A), (3  
a ; 8 0)〕にて検出された上記第1特定周波数成分の強度から、上記  
伝送光信号の偏波モード分散量を検出する偏波モード分散量検出部(1  
4, 8 1, 8 1 C)と、  
該偏波モード分散量検出部(1 4, 8 1, 8 1 C)にて検出された上  
20 記偏波モード分散量に基づいて、上記伝送光信号の偏波モード分散を補  
償するための制御量としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制  
御信号を、該偏波モード分散補償器〔(7 a ; 4), (7 a ; 4),  
(7 a ; 4)〕に対して出力するパラメータ設定部(1 5, 8 2, 8  
2)とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第1 3項記  
25 載の分散補償制御装置。

15. 該伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中における第3特定周波数成分を検出する第3特定周波数成分検出部(12b)と、

該第3特定周波数成分検出部(12b)にて検出された上記第3特定周波数成分の強度についての情報を検出する第3強度検出部(13b)

5 とをそなえとともに、

該偏波モード分散制御部(220a; 1M)が、

任意の伝送光信号を構成する光波形におけるベースバンドスペクトル中の周波数成分の強度を表す関数であって、且つ、当該周波数情報と偏波モード分散量を示すパラメータとを変数とした第1関数を用いること  
10 により、該第1強度検出部(3a; 13a)及び該第3強度検出部(13b)にてそれぞれ検出された該第1特定周波数成分の強度及び該第3特定周波数成分の強度から、上記伝送光信号の偏波モード分散量を検出する偏波モード分散量検出部(14)と、

該偏波モード分散量検出部(14)にて検出された上記偏波モード分散量に基づいて、上記伝送光信号の偏波モード分散を補償するための制御量としてのパラメータ情報を有するパラメータ設定制御信号を、該偏波モード分散補償器(7a; 4)に対して出力するパラメータ設定部  
15 (15)とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第13項記載の分散補償制御装置。

20

16. 上記パラメータ情報を、2つの偏波モード間の遅延量( $\Delta\tau$ )と、上記2つの偏波モードへの光強度の分岐比( $\gamma$ )のうちの少なくとも一方としたことを特徴とする、請求の範囲第14項又は請求の範囲第15項に記載の分散補償制御装置。

25

17. 該パラメータ設定部(15)が、上記伝送光信号の受信端となる

受信端装置（７）に設けられた偏波モード分散補償器（７ a ; ４）に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 1 4 項又は請求の範囲第 1 5 項に記載の分散補償制御装置。

5

1 8. 該パラメータ設定部（1 5）が、上記伝送光信号を送信する送信端装置（1 0 A）又は上記伝送光信号を増幅中継する中継装置（2 1 4）に設けられた偏波モード分散補償器に対して、上記パラメータ情報を設定するためのパラメータ設定制御信号を出力するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 1 4 項又は請求の範囲第 1 5 項に記載の分散補償制御装置。

10

1 9. 該パラメータ設定部（1 5）が、伝送路（6 a ; 3）上の任意の位置に設けられた第 1 の偏波モード分散補償器（7 a ; 4）に対して、2 つの偏波モードへの光強度の分岐比（ $\gamma$ ）を設定するための第 1 のパラメータ設定制御信号を出力する一方、該第 1 の偏波モード分散補償器（7 a ; 4 B'）よりも後段に配置された第 2 の偏波モード分散補償器（7 a ; 4 A）に対して、上記 2 つの偏波モード間の遅延量（ $\Delta \tau$ ）を設定するための第 2 のパラメータ設定制御信号を出力するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 1 4 項又は請求の範囲第 1 5 項に記載の分散補償制御装置。

15

20

2 0. 該パラメータ設定部（3 7）から出力されるパラメータ設定制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、該第 1 強度検出部（3 a ; 3 0）からの上記第 1 特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、該パラメータ設定部（3

25

7)におけるパラメータ設定を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化する補償量最適化制御部(31)をそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第14項又は請求の範囲第15項に記載の分散補償制御装置。

5

21. 該補償量最適化制御部(31A)が、

互いに異なる低周波成分を有する2つの低周波信号を、上記所定の低周波信号として上記パラメータ設定制御信号に重畳するように構成されるときに、

10 該第1強度検出部(3a; 30)からの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記2つの低周波信号成分のうちの一方の低周波信号成分が零となるように、該パラメータ設定部(37)における2つの偏波モードへの光強度の分岐比( $\gamma$ )の設定を制御する一方、

15 該第1強度検出部(3a; 30)からの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記2つの低周波信号成分のうちの他方の低周波信号成分が零となるように、該パラメータ設定部(37)における上記2つの偏波モード間の遅延量( $\Delta\tau$ )の設定を制御するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第20項記載の分散補償制御装置。

20 22. 該補償量最適化制御部(31B)が、上記の2つの偏波モードへの光強度の分岐比( $\gamma$ )の設定制御及び2つの偏波モード間の遅延量( $\Delta\tau$ )の設定制御を、時間的に切り換えて行なうように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第21項記載の分散補償制御装置。

25 23. システム立ち上げ時又はシステム再立ち上げ時に、該偏波モード分散補償器(54)で与える上記偏波モード分散量を示すパラメータを

大きく掃引制御する掃引制御部（５６）をそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第１４項または請求の範囲第１５項に記載の分散補償制御装置。

- 5      ２４．該偏波モード分散制御部（２２０ａ；２２５）が、該第１強度検出部（１３）で検出された該第１特定周波数成分の強度が極大となるように、該伝送路（６ａ；７３）中に設けられた偏波制御器（７ａ；４Ｂ）及び偏波モード間遅延器（７ａ；２２７）のうちの少なくとも一方をフィードバック制御するように構成されたことを特徴とする、請求の  
10      範囲第６、９、１１項のいずれか一項に記載の分散補償制御装置。

- ２５．該偏波モード間遅延器（７ａ；２２７）が、偏波ビームスプリッタ（２２７ａ）によって各偏波モード成分を分離して、可変光遅延路（２２７ｃ）によって各偏波モード成分間に遅延差を与えた後に合波する  
15      デバイスとして構成されていることを特徴とする、請求の範囲第２４項記載の分散補償制御装置。

- ２６．該偏波モード間遅延器（７ａ；２３０）が、偏波分散値の異なる複数の偏波保持ファイバを並列に配置し、該伝送路（６ａ；７３）の偏  
20      波モード分散量に従って、光信号を透過させる偏波保持ファイバを光スイッチ〔２３０ａ（又は２３０ｂ）〕で切り換えるデバイスとして構成されていることを特徴とする、請求の範囲第２４項記載の分散補償制御装置。

- 25      ２７．該偏波モード分散制御部（２２０ａ；２２５）が、  
         該偏波制御器（７ａ；４Ｂ）内の１／４波長板（７ａ；４Ｂ－１１）

の方位角及び  $1/2$  波長板 (7 a ; 4 B - 1 2) の方位角並びに該偏波モード間遅延器 (7 a ; 2 2 7) の偏波モード間遅延量のいずれかを、該第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 1 制御モードによる制御を行なうとともに、

該第 1 制御モードの後に、該残りの制御パラメータの一方を該第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させ、その間、最初に変化させた制御パラメータ及び該残りの制御パラメータの他方を固定しておく第 2 制御モードによる制御を行ない、

最後に、最初に変化させた制御パラメータ及び該残りの制御パラメータの一方を固定しながら、該残りの制御パラメータの他方を該第 1 特定周波数成分の強度が極大となるように変化させる第 3 制御モードによる制御を行なうように構成されていることを特徴とする、請求の範囲第 2 4 項記載の分散補償制御装置。

15

2 8. 該偏波モード分散制御部 (2 2 0 a ; 2 2 5) が、

該偏波制御器 (7 a ; 4 B) 内の  $1/4$  波長板 (7 a ; 4 B - 1 1) の方位角及び  $1/2$  波長板 (7 a ; 4 B - 1 2) の方位角並びに該偏波モード間遅延器 (7 a ; 2 2 7) の偏波モード間遅延量のいずれかを、該第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、上記の方位角あるいは偏波モード間遅延量のうちの残りの制御パラメータは固定しておく第 4 制御モードによる制御を行なうとともに、

該第 4 制御モードの後に、該残りの制御パラメータの一方を該第 1 特定周波数成分の強度が増大するように変化させ、その間、最初に変化させた制御パラメータ及び該残りの制御パラメータの他方を固定しておく第 5 制御モードによる制御を行ない、

最後に、最初に変化させた制御パラメータ及び該残りの制御パラメータの一方を固定しながら、該残りの制御パラメータの他方を該第1特定周波数成分の強度が増大するように変化させる第6制御モードによる制御を行ない、

5       その後は、該第1特定周波数成分の強度が極大となるまで、上記の第4制御モード、第5制御モード、第6制御モードを繰り返し実行するように構成されていることを特徴とする、請求の範囲第24項記載の分散補償制御装置。

10       29. 該偏波モード分散制御部(220a; 225a)から上記の偏波制御器(4B)及び偏波モード間遅延器(7a; 227)へ出力される制御信号に、予め設定された所定の低周波信号を重畳するとともに、該第1強度検出部(3a; 13)らの上記第1特定周波数成分の強度に含まれる上記低周波信号成分が零となるように、上記の偏波制御器(7  
15       a; 4B)及び偏波モード間遅延器(7a; 227)を制御することにより、上記伝送光信号の偏波モード分散の補償量を最適化する補償量最適化制御部(241)をそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第24項記載の分散補償制御装置。

20       30. 該補償量最適化制御部(241)が、該偏波制御器(7a; 4B)内の1/4波長板(7a; 4B-11)の方位角及び該1/2波長板(7a; 4B-12)の方位角並びに該偏波モード間遅延器(7a; 227)の偏波モード間遅延量をそれぞれ異なる周波数で低周波変調して、該伝送光信号のベースバンドスペクトル中の該第1周波数成分強度  
25       を検出し、その中に含まれる低周波数成分の強度変調成分が零となるように、上記の偏波制御器(7a; 4B)内の1/4波長板(7a; 4B

— 1 1) の方位角及び該 1 / 2 波長板 ( 7 a ; 4 B - 1 2 ) の方位角並びに該偏波モード間遅延器 ( 7 a ; 2 2 7 ) の偏波モード間遅延量を最適化するように構成されていることを特徴とする、請求の範囲第 2 9 項記載の分散補償制御装置。

5

3 1. 該偏波モード分散制御部 ( 2 2 0 a ; 2 2 5 b ) が、システム稼働中は、該偏波制御器 ( 7 a ; 4 B ) のみの制御を行なう一方、システム稼働開始時及び該伝送路 ( 6 a ; 7 3 ) における偏波モード分散の条件を決める要素に切換があった時には、該偏波モード間遅延器 ( 7 a ; 2 2 7 ) を制御するように構成されていることを特徴とする、請求の範囲第 2 4 項記載の分散補償制御装置。

10

3 2. 該偏波モード分散制御部 ( 2 2 0 a ; 2 2 5 c ) が、  
最大許容偏波モード分散量を設定する最大許容偏波モード分散量設定手段 ( 2 1 2 ) をそなえるとともに、

15

該第 1 強度検出部 ( 3 a ; 1 3 ) で検出された該第 1 特定周波数成分として、ビットレートの 1 / 2 に相当する周波数成分の強度が極大となるように、該伝送路 ( 6 a ; 7 3 ) 中に設けられた偏波制御器 ( 7 a ; 4 B ) 及び偏波モード間遅延器 ( 7 a ; 2 3 0 ) のうちの少なくとも一方をフィードバック制御する場合に、システム稼働時においては、該偏波モード間遅延器 ( 7 a ; 2 3 0 ) の遅延量を、1 タイムスロットから該最大許容偏波モード分散量を引いた値として定義される下限値以上で、且つ、該最大許容偏波モード分散量の 2 倍の大きさをもつ値として定義される上限値以下の値に設定しておくことを特徴とする、請求の範囲第 2 4 項記載の分散補償制御装置。

20

25



3 3. 該偏波モード分散制御部（2 2 0 a ; 2 2 5 c）が、該システム稼働時における該偏波モード間遅延器（7 a ; 2 2 7）の遅延量を該下  
限値に設定することを特徴とする、請求の範囲第 3 2 項記載の分散補償  
制御装置。

5

3 4. 該偏波モード分散制御部（2 2 0 a ; 2 2 5 c）が、該システム稼働時における該偏波モード間遅延器（7 a ; 2 3 0）の遅延量を該上  
限値に設定することを特徴とする、請求の範囲第 3 2 項記載の分散補償  
制御装置。

10

3 5. 該偏波モード間遅延器（7 a ; 2 3 0）が、偏波保持ファイバで  
構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 2 4 項記載の分散補償制  
御装置。

15

3 6. 該偏波モード間遅延器（7 a ; 2 3 0）が、遅延量を固定した状  
態の可変偏波モード間遅延器で構成されたことを特徴とする、請求の範  
囲第 2 4 項記載の分散補償制御装置。

20

3 7. 該第 1 特定周波数成分検出部〔（2 a ; 1 2）, （2 a ; 7 9）,  
（2 a ; 7 9 A）〕にて検出された上記第 1 特定周波数成分に基づいて、  
受信信号のタイミング抽出を行なうタイミング抽出部（8 4, 8 4, 8  
4）をそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 6、9、1  
1 項のいずれか一項に記載の分散補償制御装置。

25

3 8. 該波長分散制御部（2 2 4 a ; 2 4 0）が、該第 2 強度検出部  
（2 2 3 a ; 8 0 B）で検出された該第 2 特定周波数成分の強度が極大

又は極小となるように、該伝送路（６ a ; ７ ３）中に設けられた波長分散補償器（２ ０ ６ a ; ８ ３）に対して波長分散制御量を設定するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 ９ 項記載の分散補償制御装置。

5

３ ９．該波長分散制御部（２ ２ ４ a ; ２ ４ ０）が、

該第 ２ 強度検出部（２ ２ ３ a ; ８ ０ B）にて検出された上記第 ２ 特定周波数成分の強度から、所定の第 ２ 関数による演算を行なうことにより上記伝送光信号の波長分散量を検出する波長分散量検出部（８ １ B）と、

10

該波長分散量検出部（８ １ B）にて検出された上記波長分散量に基づいて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、該波長分散補償器（２ ０ ６ a ; ８ ３）に対して波長分散制御量を設定する波長分散制御量設定部（８ ２ B）とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 ３ ８ 項記載の分散補償制御装置。

15

４ ０．該波長分散制御部（２ ２ ４ a ; ２ ４ ０）が、該第 ２ 強度検出部（２ ２ ３ a ; ８ ０ B）で検出された該第 ２ 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、該伝送路（６ a ; ７ ３）中に設けられた波長分散補償器（２ ０ ６ a ; ８ ３）をフィードバック制御するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 ９ 項記載の分散補償制御装置。

20

４ １．該波長分散制御部（２ ２ ４ a ; ２ ４ １ a）が、該第 １ 強度検出部（３ a ; ８ ０）で検出された該第 １ 特定周波数成分の強度が極大又は極小となるように、該伝送路（６ a ; ７ ３）中に設けられた波長分散補償器（２ ０ ６ a ; ８ ３）に対して波長分散制御量を設定するように構成されたことを特徴とする、請求の範囲第 １ １ 項記載の分散補償制御装置。

25

- 4 2. 該波長分散制御部（2 2 4 a ; 2 4 1 a）が、  
該第 1 強度検出部（3 a ; 8 0）にて検出された上記第 1 特定周波数  
成分の強度から、所定の第 2 関数による演算を行なうことにより上記伝  
5 送光信号の波長分散量を検出する波長分散量検出部（8 1 c）と、  
該波長分散量検出部（8 1 c）にて検出された上記波長分散量に基づ  
いて、上記伝送光信号の波長分散を補償すべく、該波長分散補償器（2  
0 6 a ; 8 3）に対して波長分散制御量を設定する波長分散制御量設定  
部（8 2 B）とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求の範囲第  
10 4 1 項記載の分散補償制御装置。
- 4 3. 該波長分散制御部（2 2 4 a ; 2 4 1 a）が、該第 1 強度検出部  
（3 a ; 8 0）で検出された該第 1 特定周波数成分の強度が極大又は極  
小となるように、該伝送路（6 a ; 7 3）中に設けられた波長分散補償  
15 器（2 0 6 a ; 8 3）をフィードバック制御するように構成されたこと  
を特徴とする、請求の範囲第 1 1 項記載の分散補償制御装置。
- 4 4. 該第 1 強度検出部（3 a ; 8 0）が、検出した上記第 1 特定周波  
数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうるように構成  
20 されていることを特徴とする、請求の範囲第 6、9、1 1 項のいずれか  
一項に記載の分散補償制御装置。
- 4 5. 該第 2 強度検出部（2 2 3 a ; 8 0 B）が、検出した上記第 2 特  
定周波数成分の強度についての情報をモニタ信号として出力しうよう  
25 に構成されていることを特徴とする、請求の範囲第 9 項記載の分散補償  
制御装置。

46. 伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、

- 5     該第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、

      該第1強度検出ステップで検出された該第1特定周波数成分の強度が極大となるように、該伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、分散補償  
10    制御方法。

47. 伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第1特定周波数成分を検出する第1特定周波数成分検出ステップと、

- 15    該第1特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第1特定周波数成分の強度についての情報を検出する第1強度検出ステップと、

      該第1強度検出ステップで検出された該第1特定周波数成分の強度が極大となるように、該伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード分散制御ステップとをそなえるとともに、

- 20    該伝送光信号におけるベースバンドスペクトル中の第2特定周波数成分を検出する第2特定周波数成分検出ステップと、

      該第2特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第2特定周波数成分の強度についての情報を検出する第2強度検出ステップと、

- 該第2強度検出ステップで検出された該第2特定周波数成分の強度が  
25    極大又は極小となるように、該伝送路の波長分散量を制御する波長分散制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、分散補償制御

方法。

4 8. 伝送路としての伝送ファイバを介して受信側に入力される伝送光  
信号におけるベースバンドスペクトル中の第 1 特定周波数成分を検出す  
5 る第 1 特定周波数成分検出ステップと、

該第 1 特定周波数成分検出ステップにて検出された上記第 1 特定周波  
数成分の強度についての情報を検出する第 1 強度検出ステップと、

該第 1 強度検出ステップで検出された該第 1 特定周波数成分の強度が  
極大となるように、該伝送路の偏波モード分散量を制御する偏波モード  
10 分散制御ステップと、

該第 1 強度検出ステップで検出された該第 1 特定周波数成分の強度が  
極大又は極小となるように、該伝送路の波長分散量を制御する波長分散  
制御ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、分散補償制御  
方法。

15

4 9. 上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが  
独立して実行されることを特徴とする、請求の範囲第 4 7 項又は請求の  
範囲第 4 8 項に記載の分散補償制御方法。

20 5 0. 上記の偏波モード分散制御ステップと波長分散制御ステップとが  
時系列的に実行されることを特徴とする、請求の範囲第 4 7 項又は請求  
の範囲第 4 8 項に記載の分散補償制御方法。

25

図 1

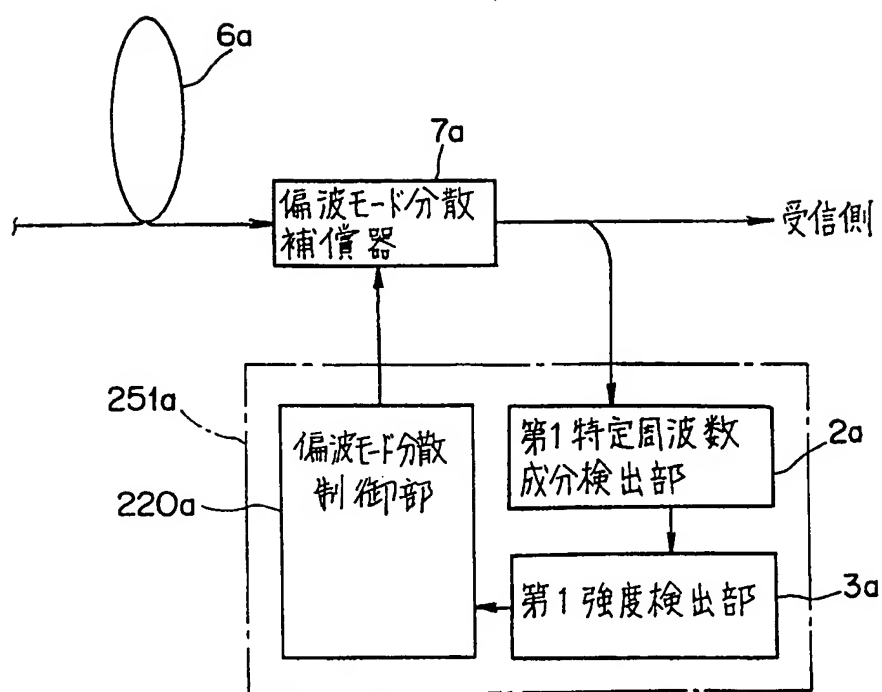


図 2

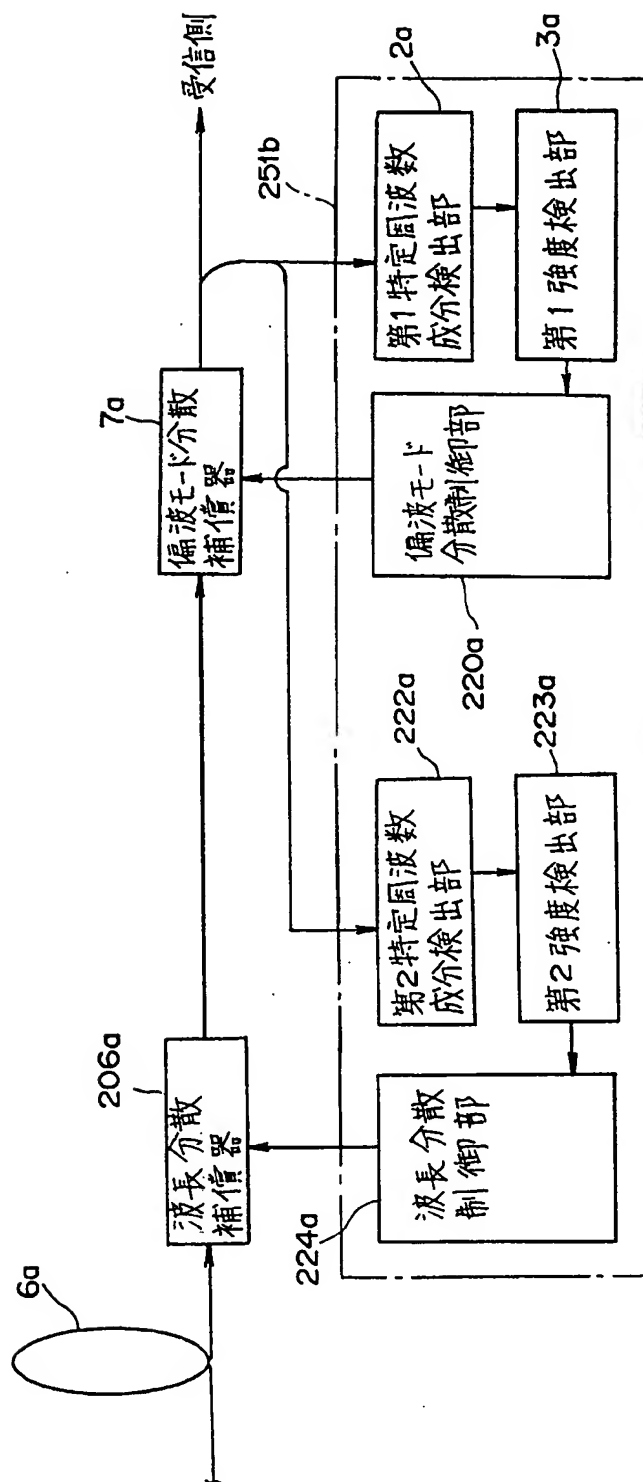


図 3

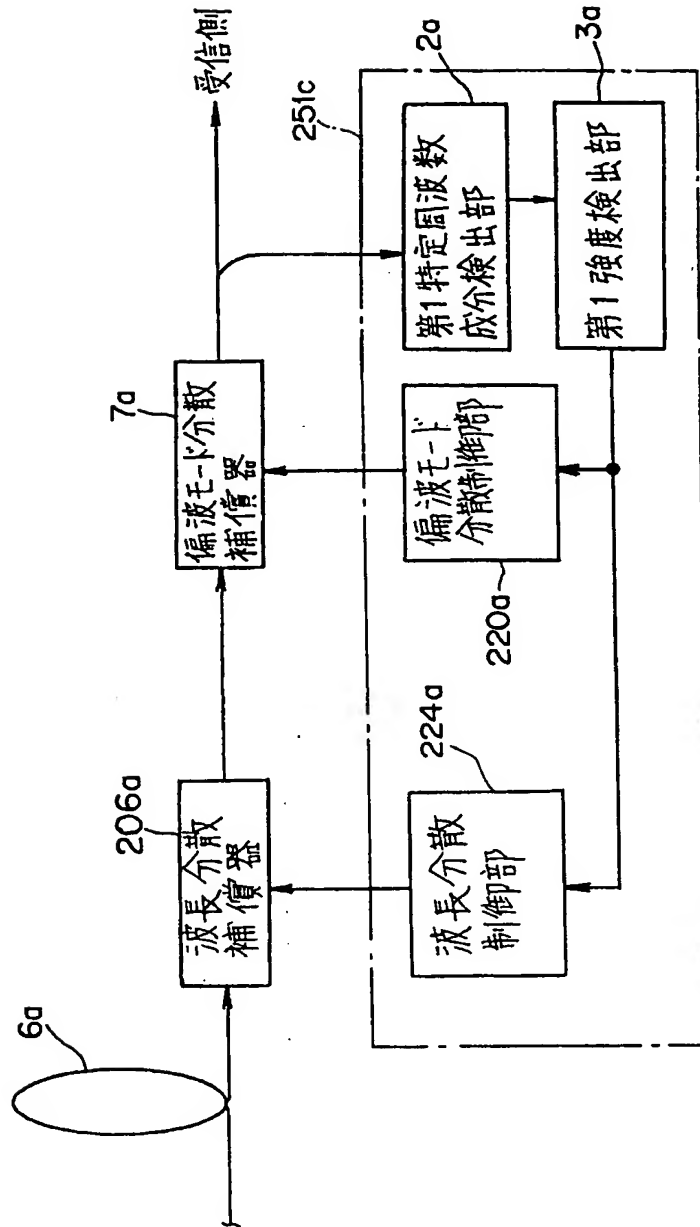




図 4

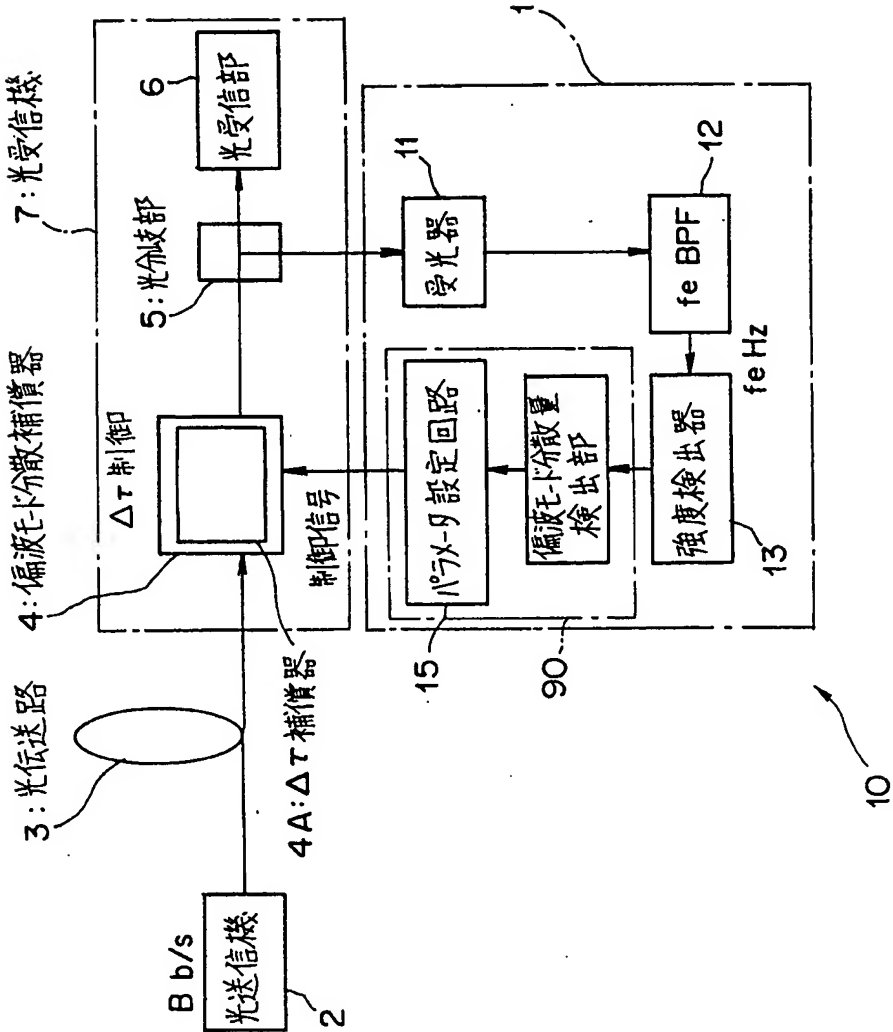


図 5

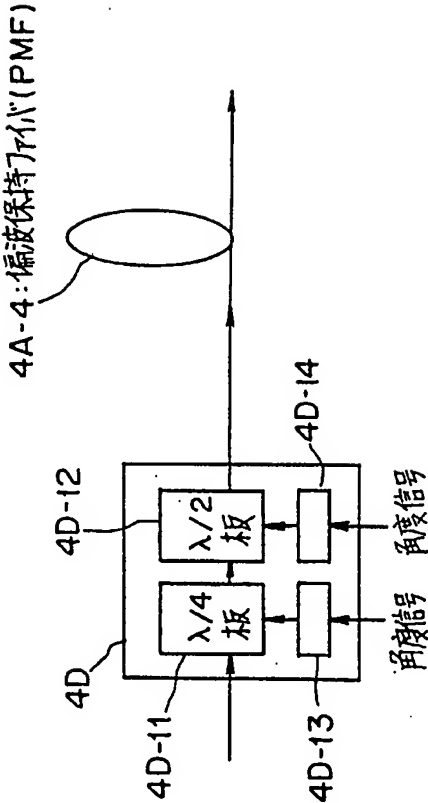


図 6

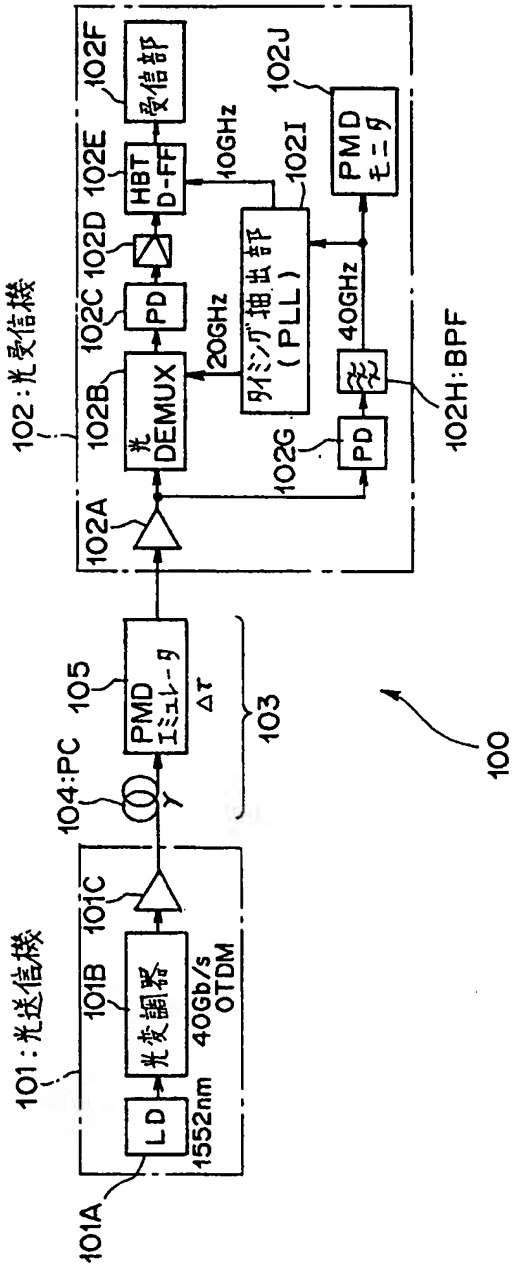


図 7

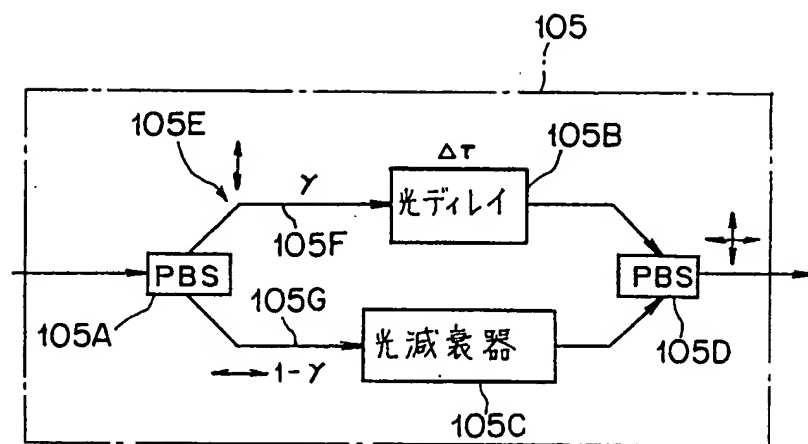


図 8(a)

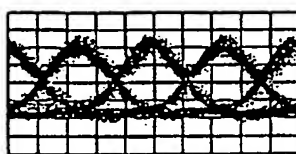
 $\Delta\tau = 0 \text{ ps}$ 

図 8(b)

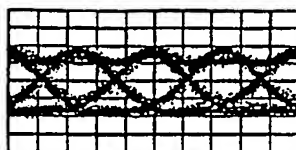
 $\Delta\tau = 10 \text{ ps}$ 

図 8(c)

 $\Delta\tau = 12.5 \text{ ps}$ 

図 8(d)

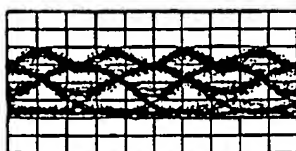
 $\Delta\tau = 17.5 \text{ ps}$ 

図 8(e)

 $\Delta\tau = 25 \text{ ps}$

図 9

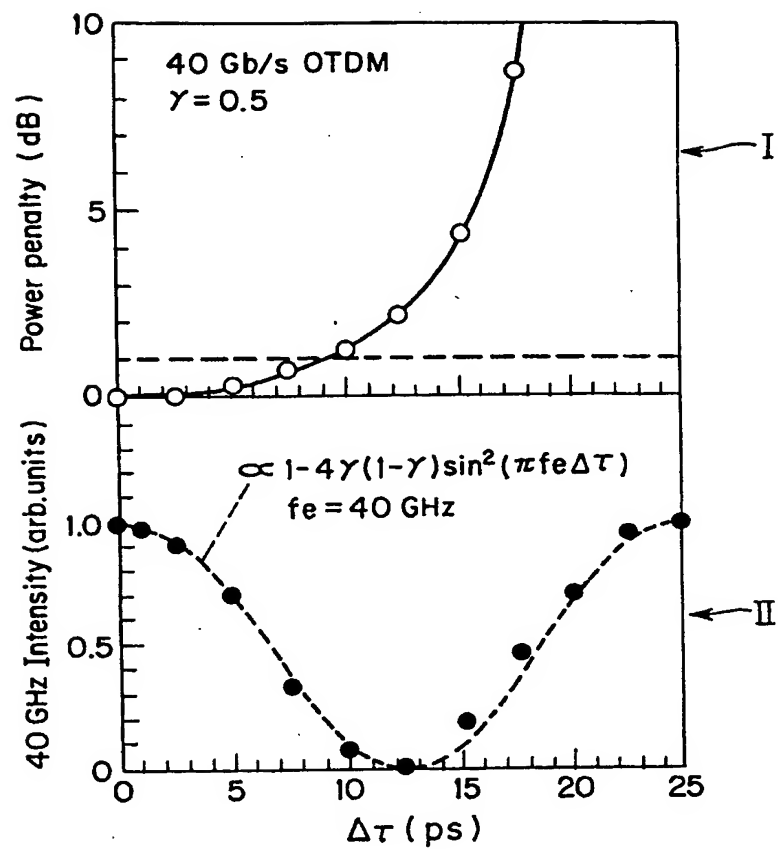


図 10 (a)

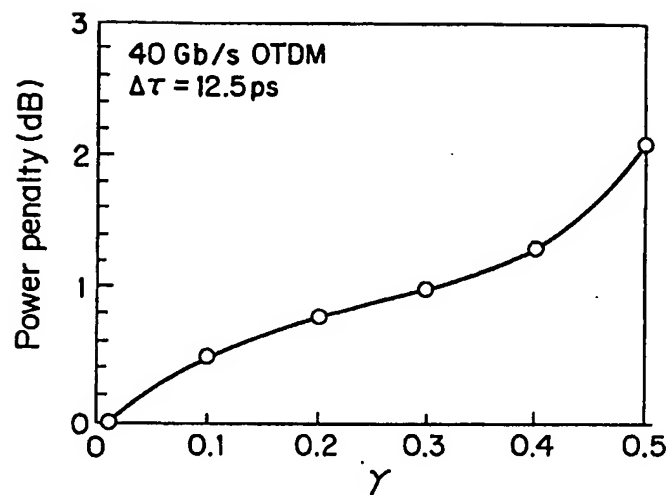


図 10 (b)

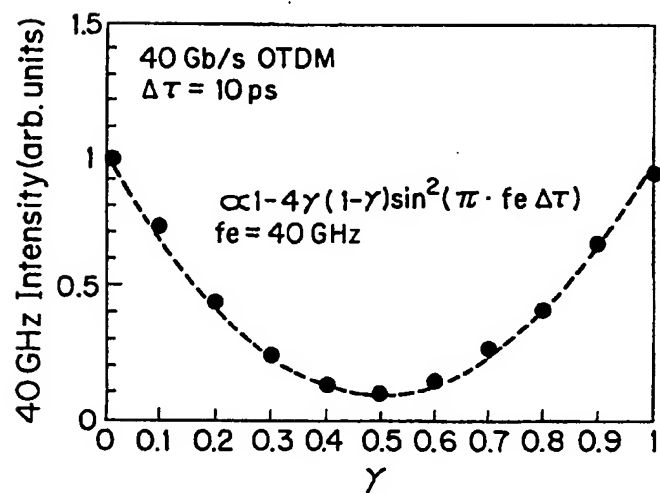
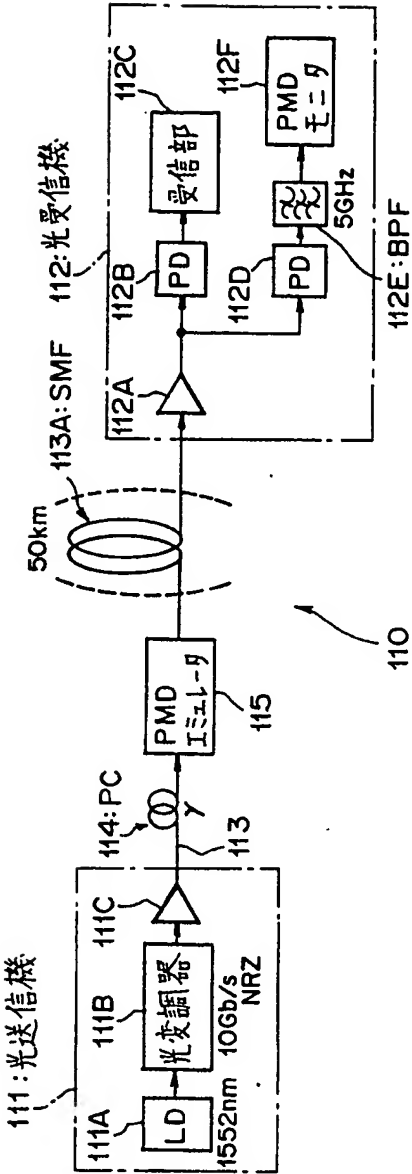


図 11





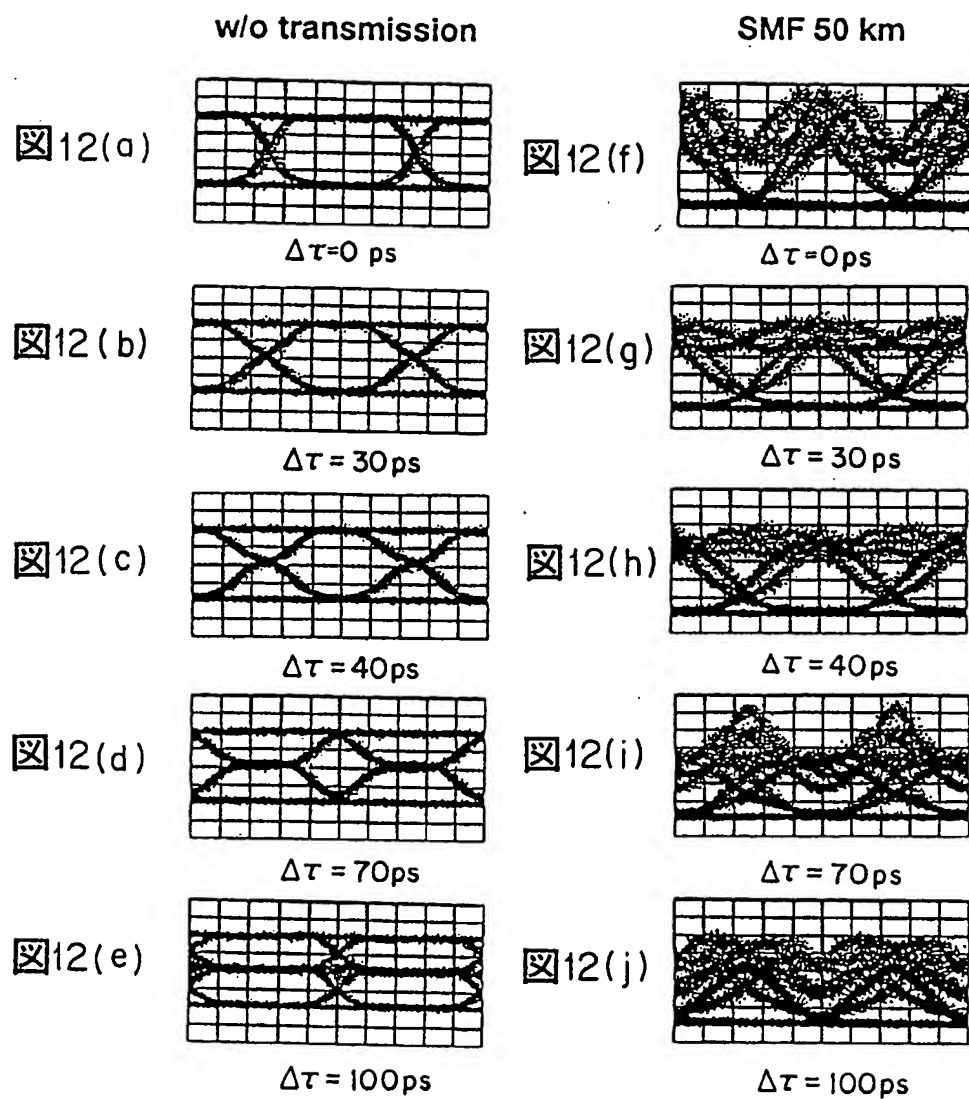


図 13

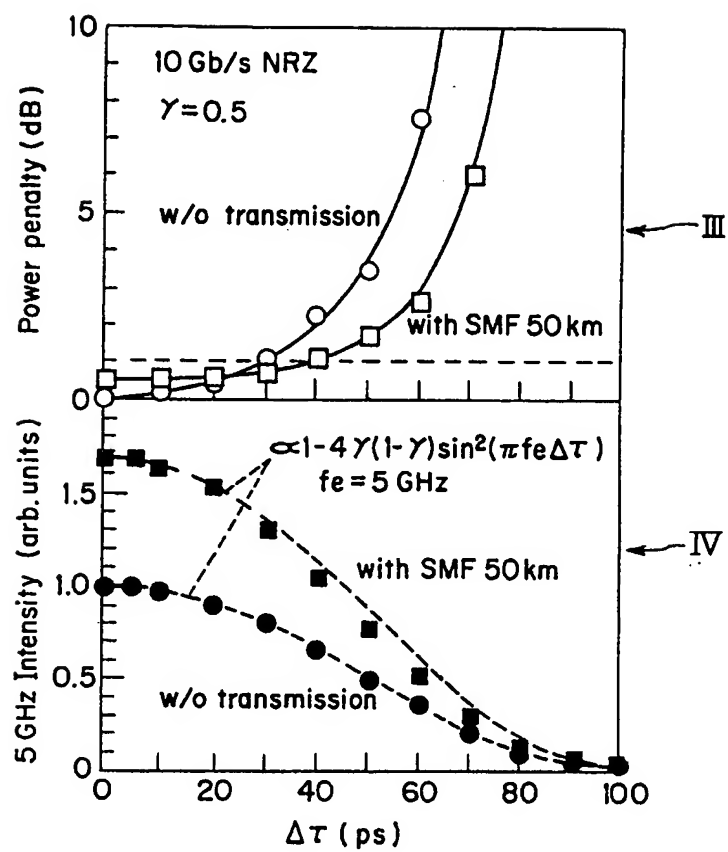


図 14(a)

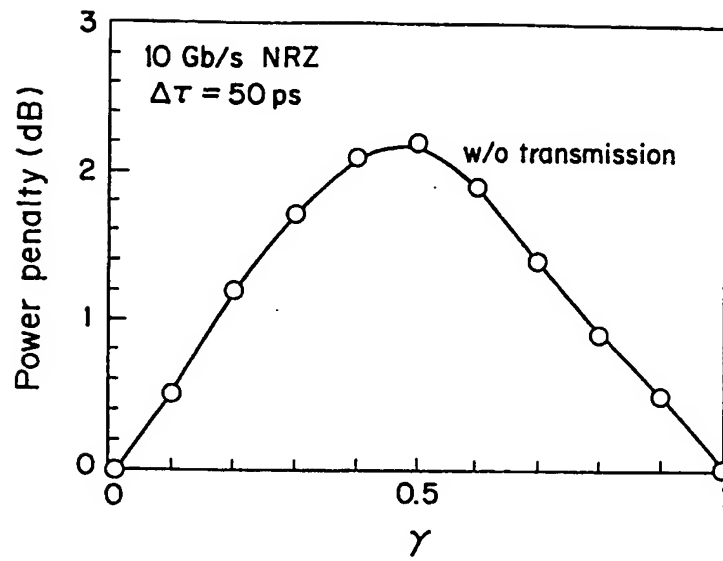


図 14(b)

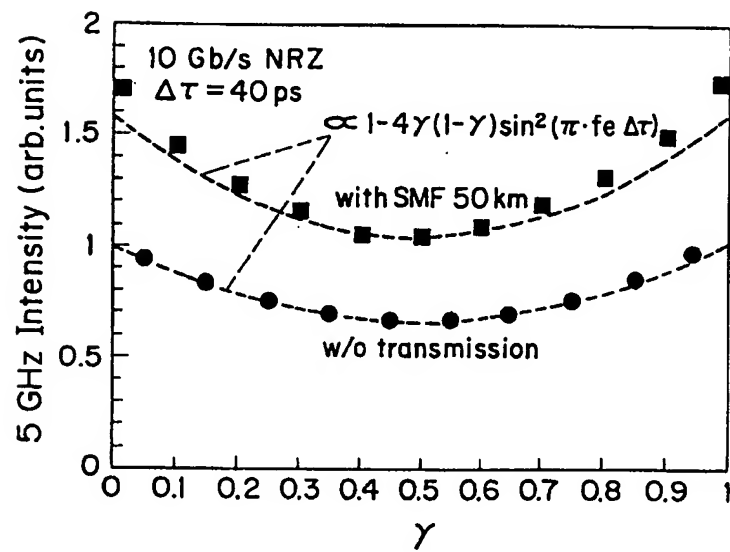
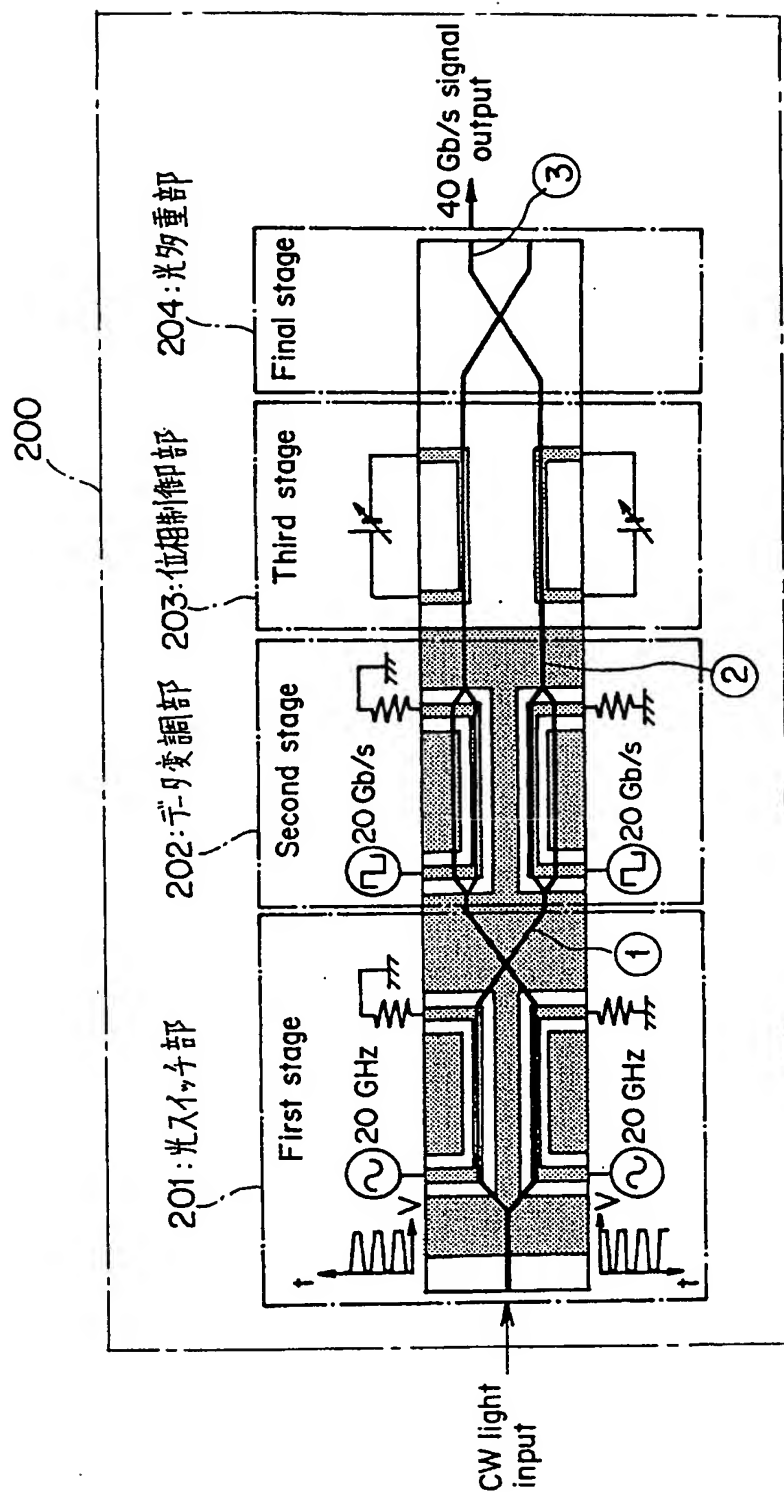


図 15



① 20 GHz 光 CLK 波形

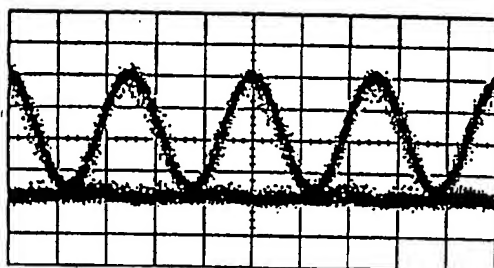
図16(a)



H:20 ps/div.

② 20 Gb/s 光 RZ 波形

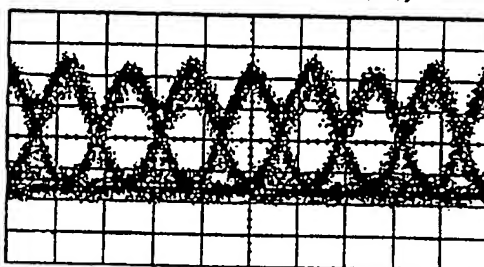
図16(b)



H:20 ps/div.

③ 40 Gb/s 光 MUX 波形

図16(c)



H:20 ps/div.

図 17

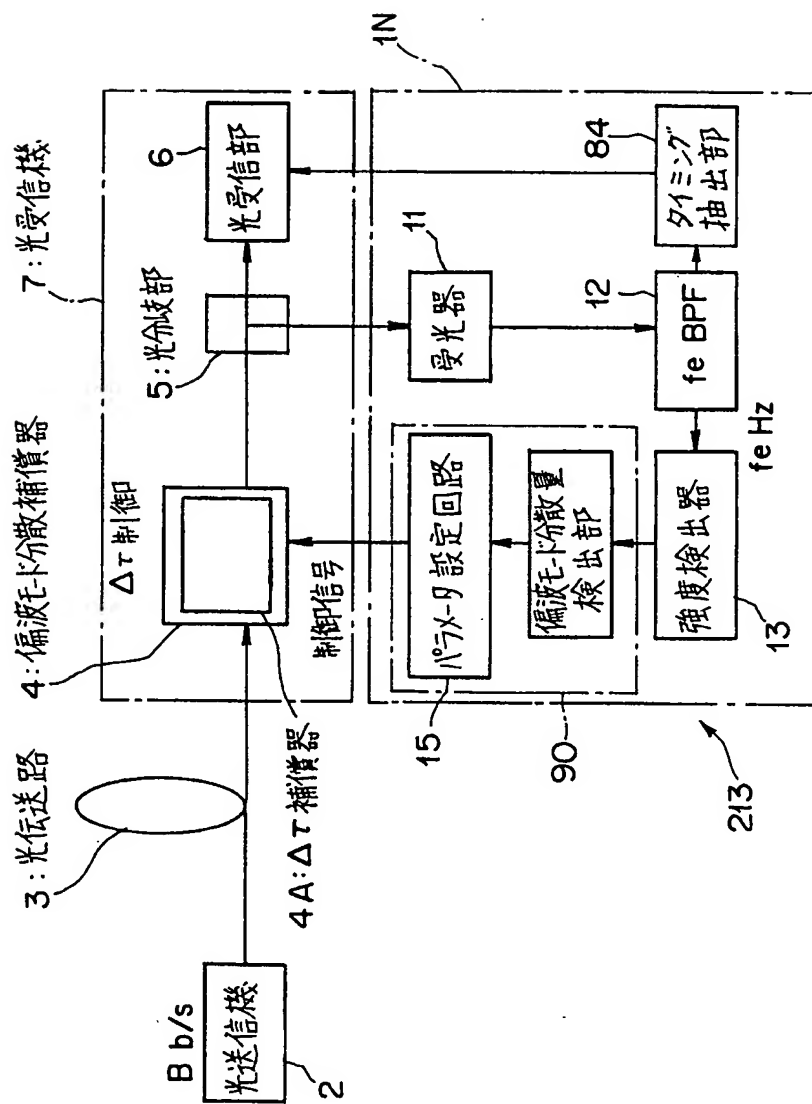


図 18

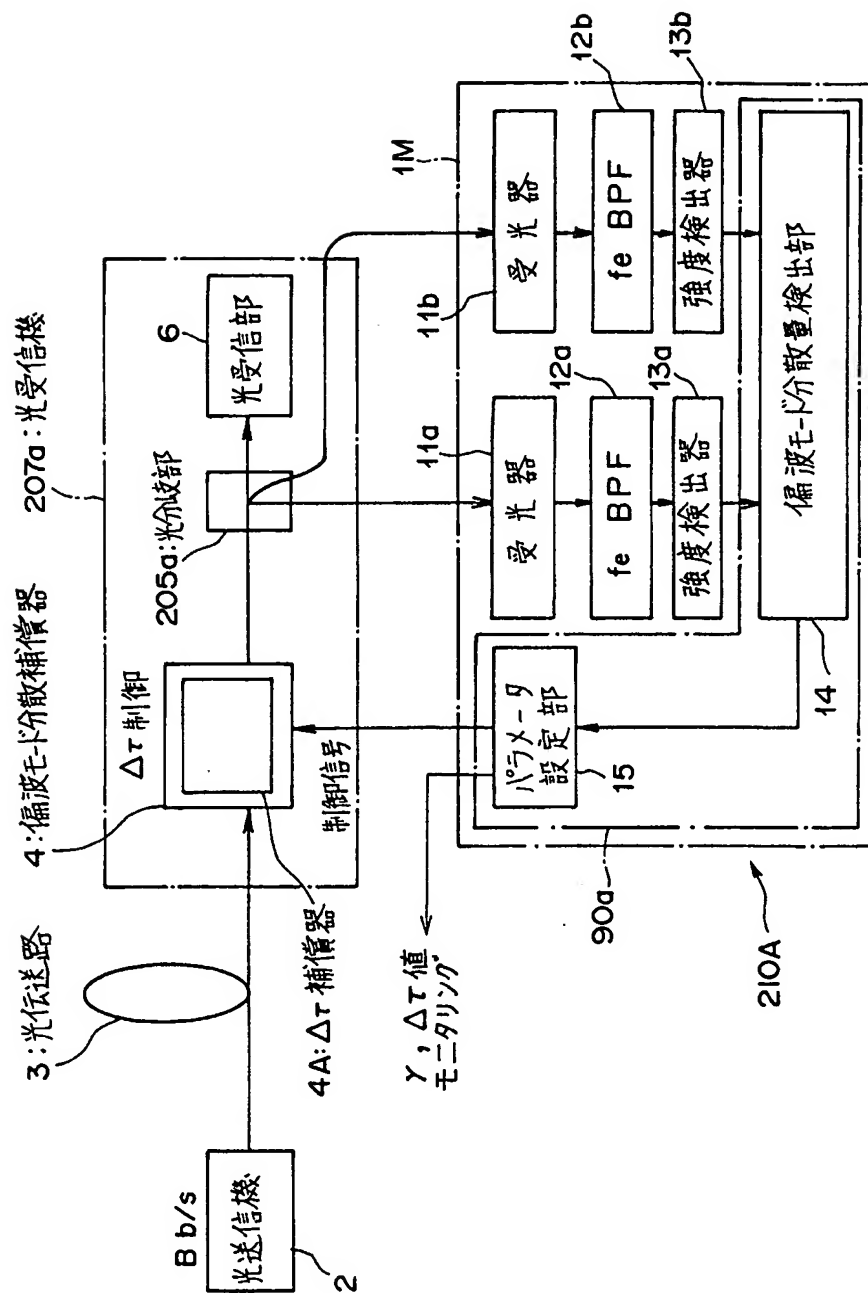


図 19

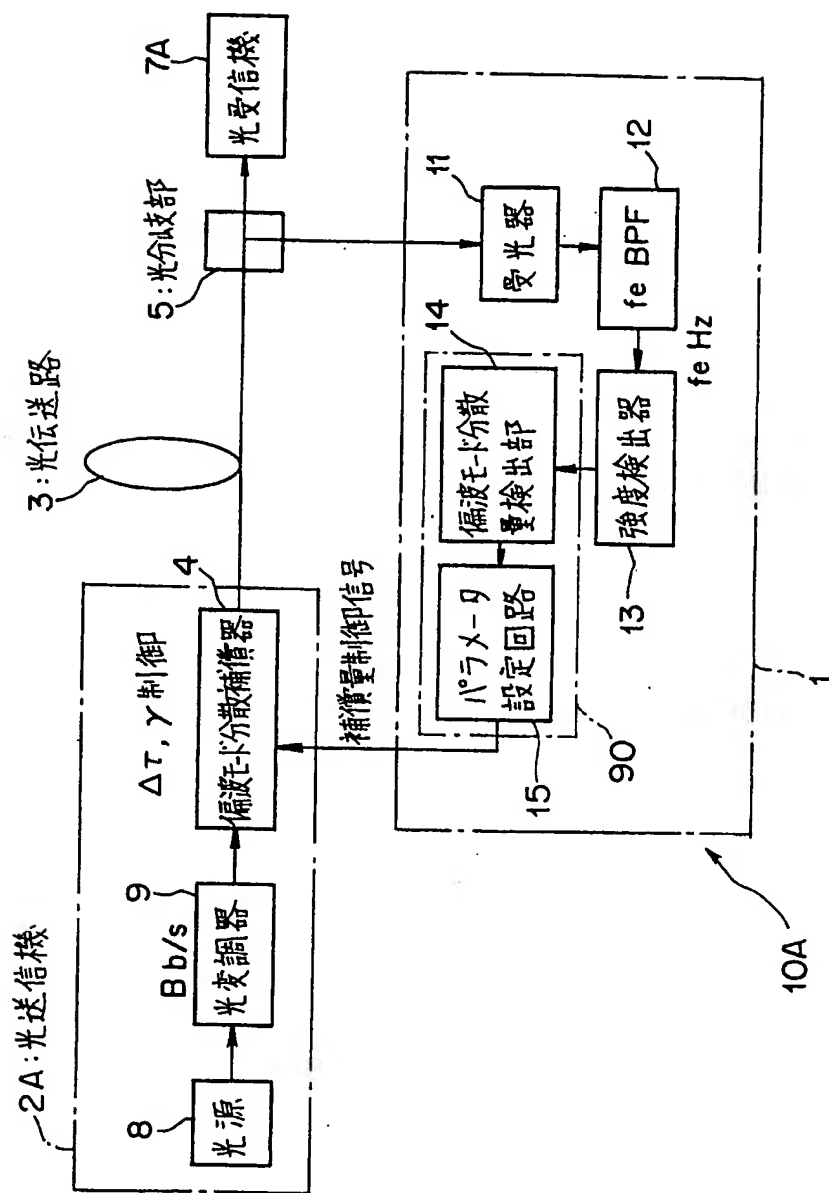




図 20

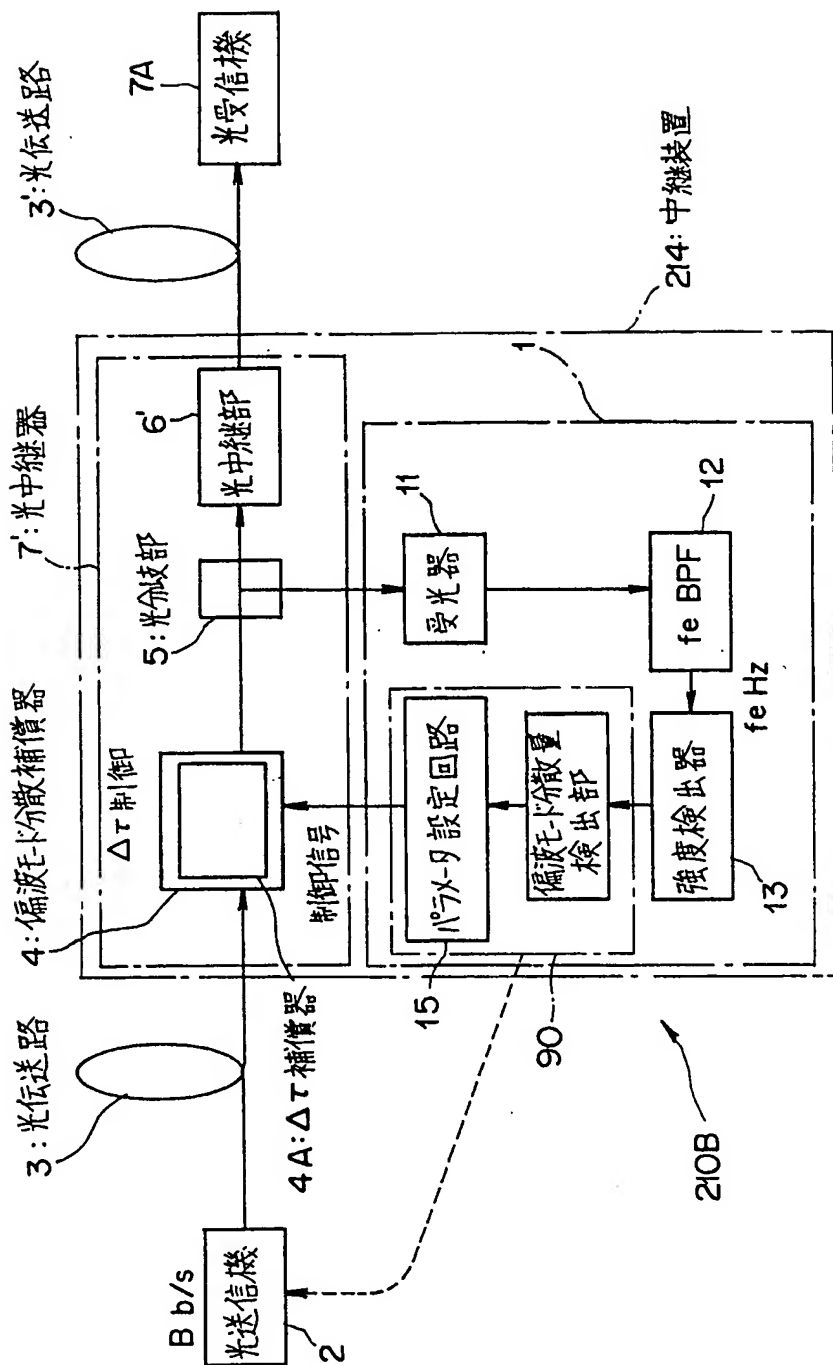


図 21

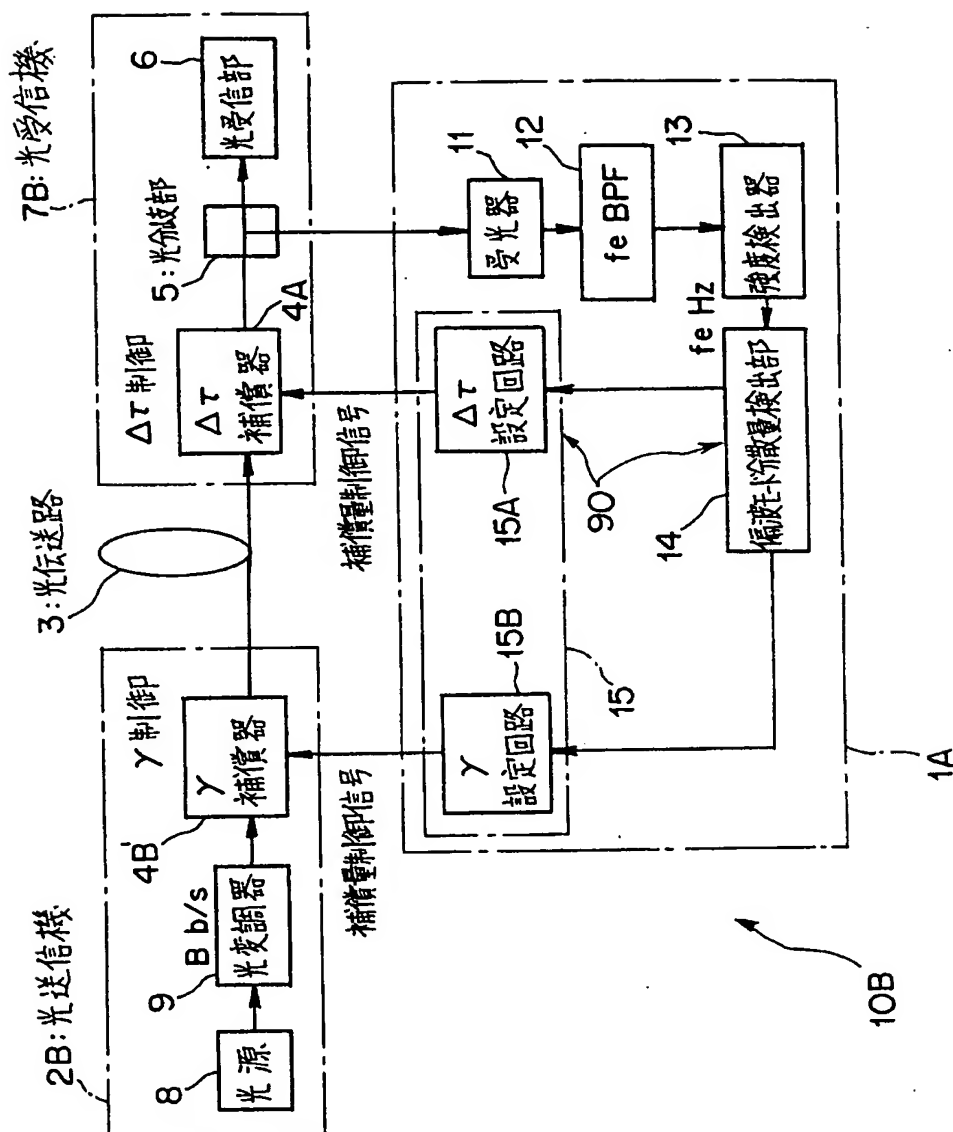


図 22

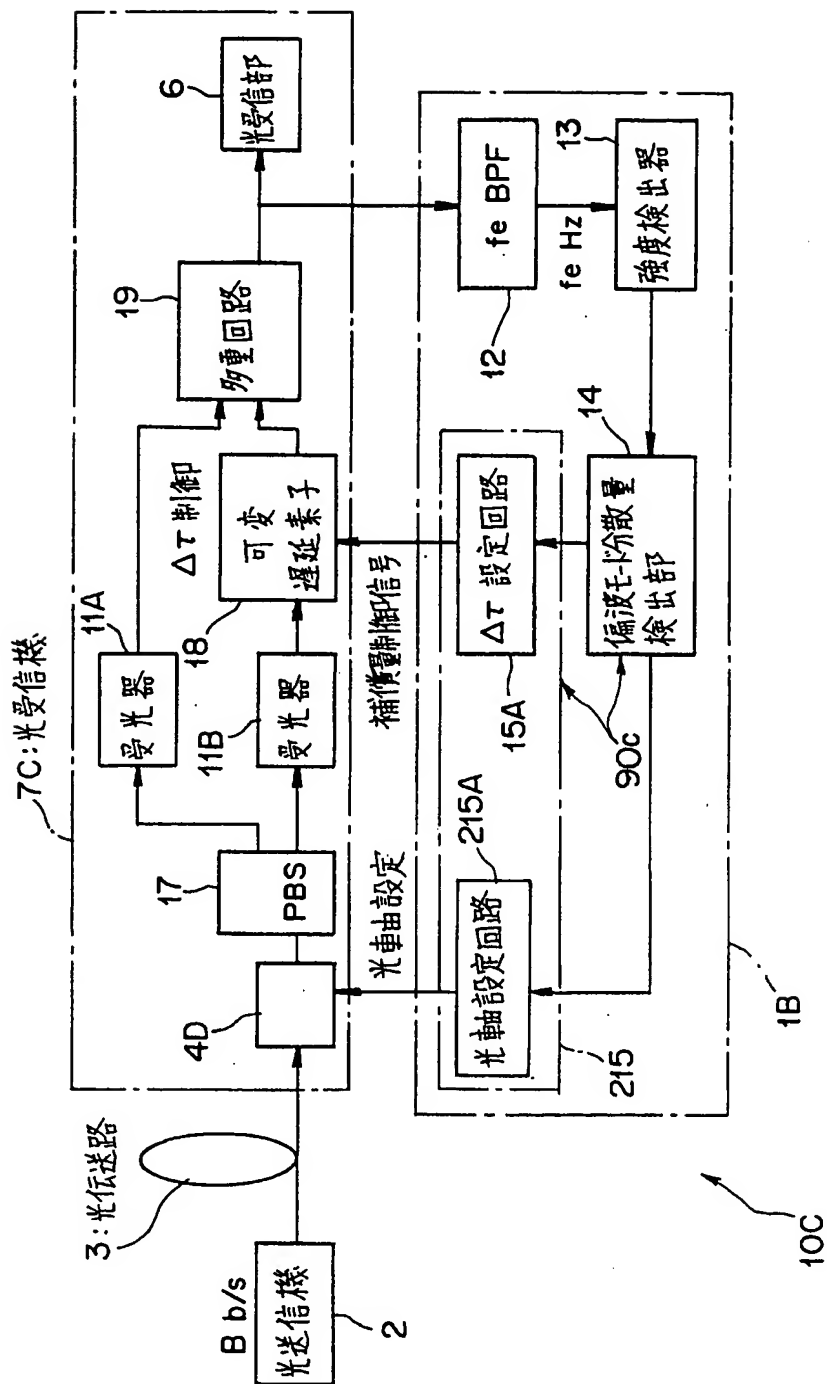
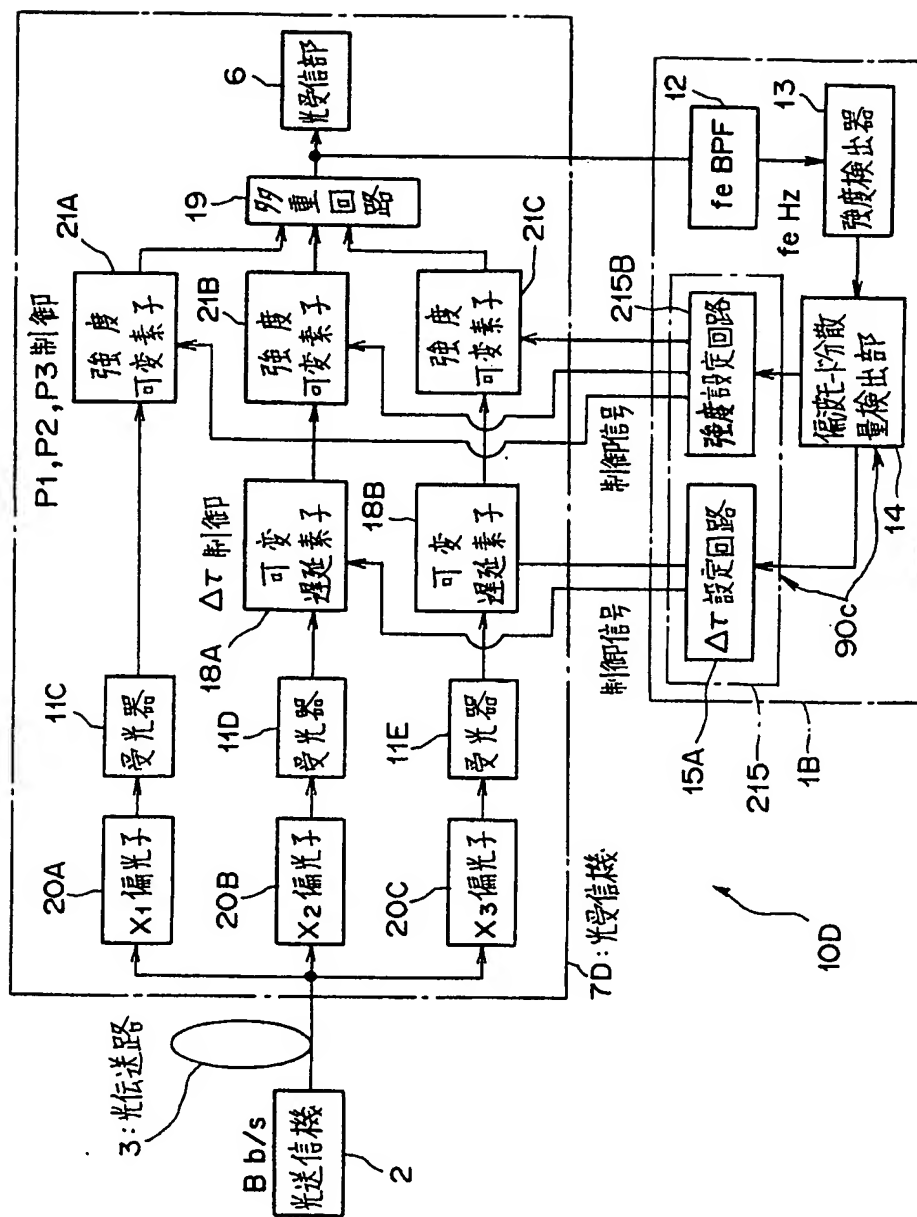
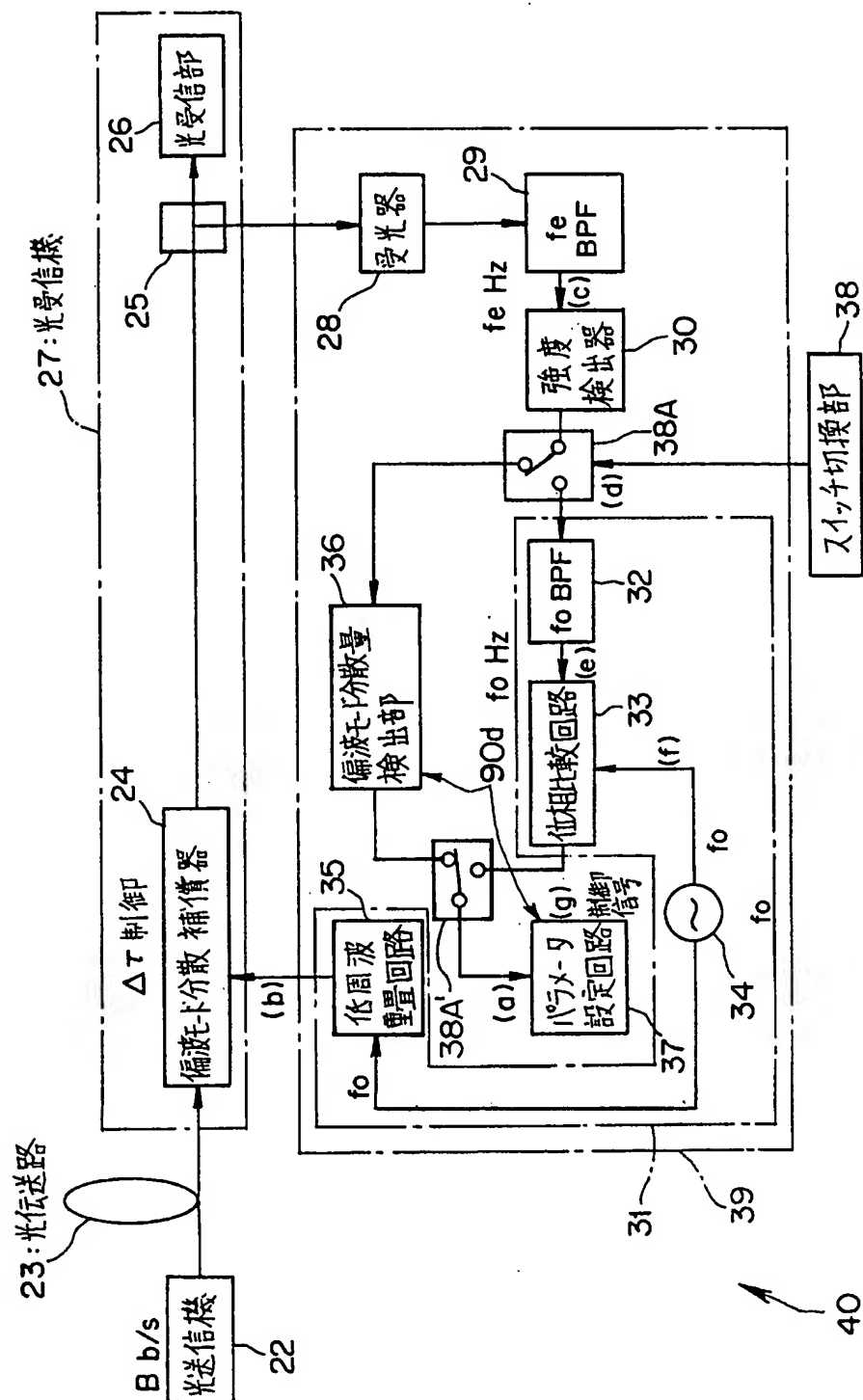


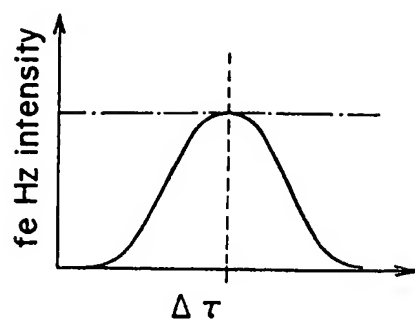
図 23



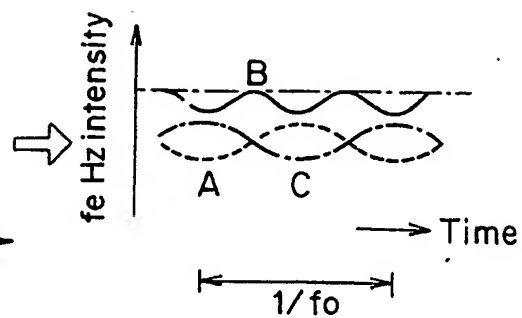
24 図



25(a)



25(c)



25(b)

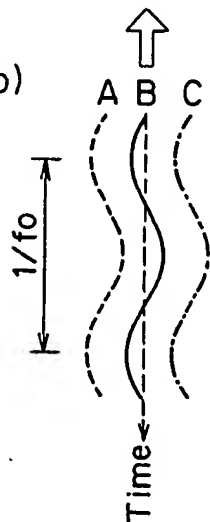


図 26(a)

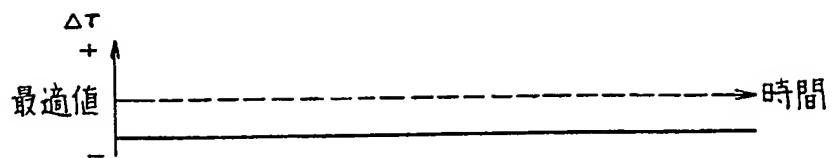


図 26(b)

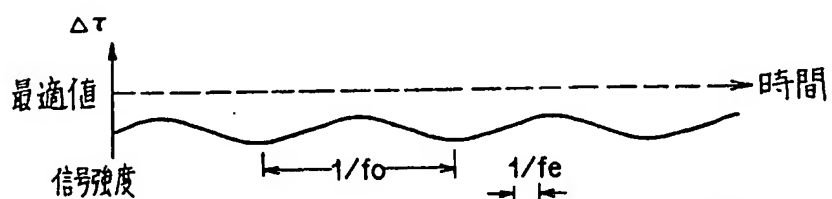


図 26(c)

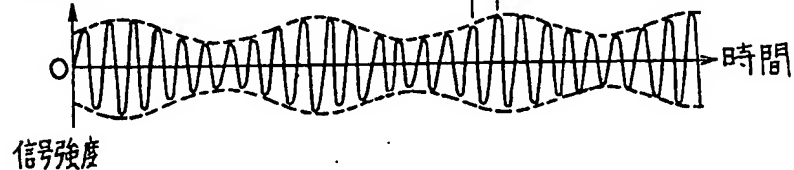


図 26(d)

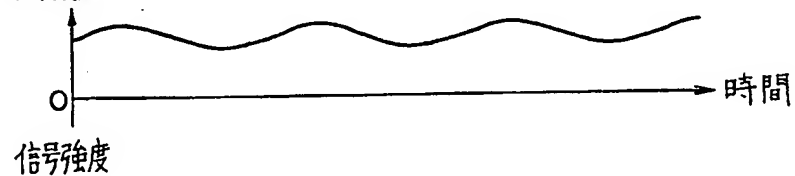


図 26(e)

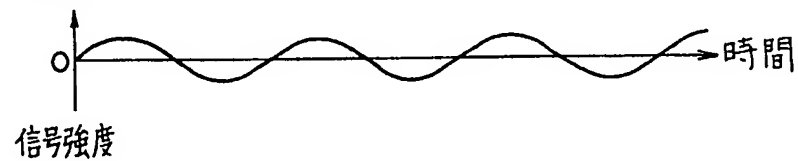


図 26(f)

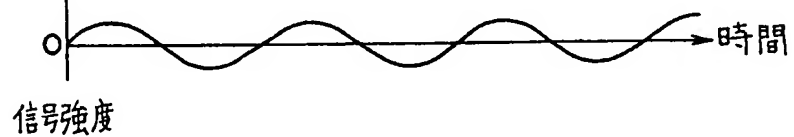


図 26(g)

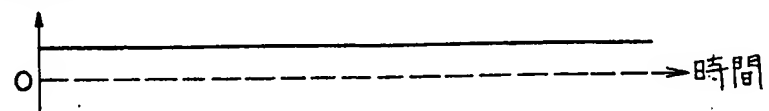


図 27

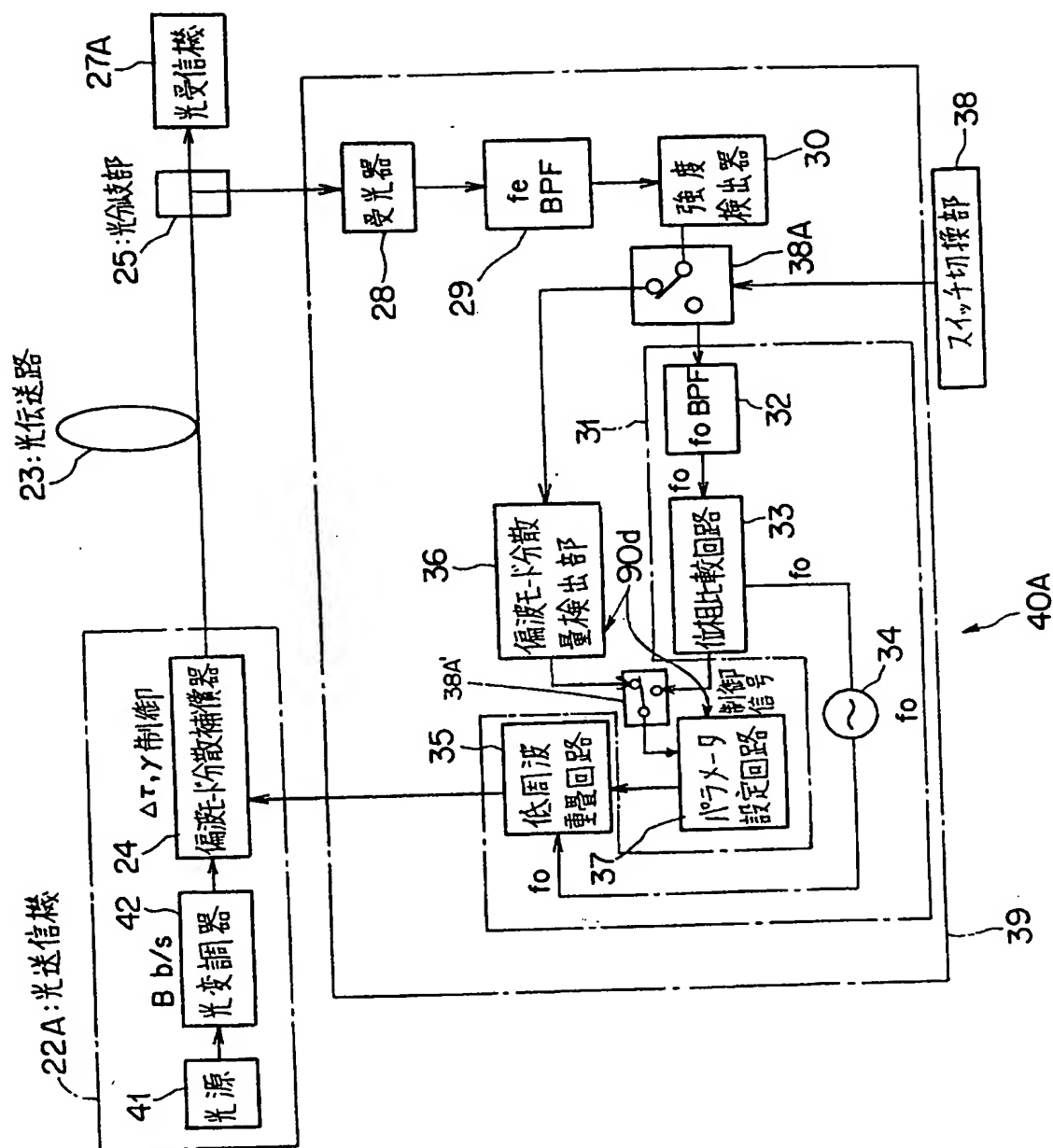




図 28

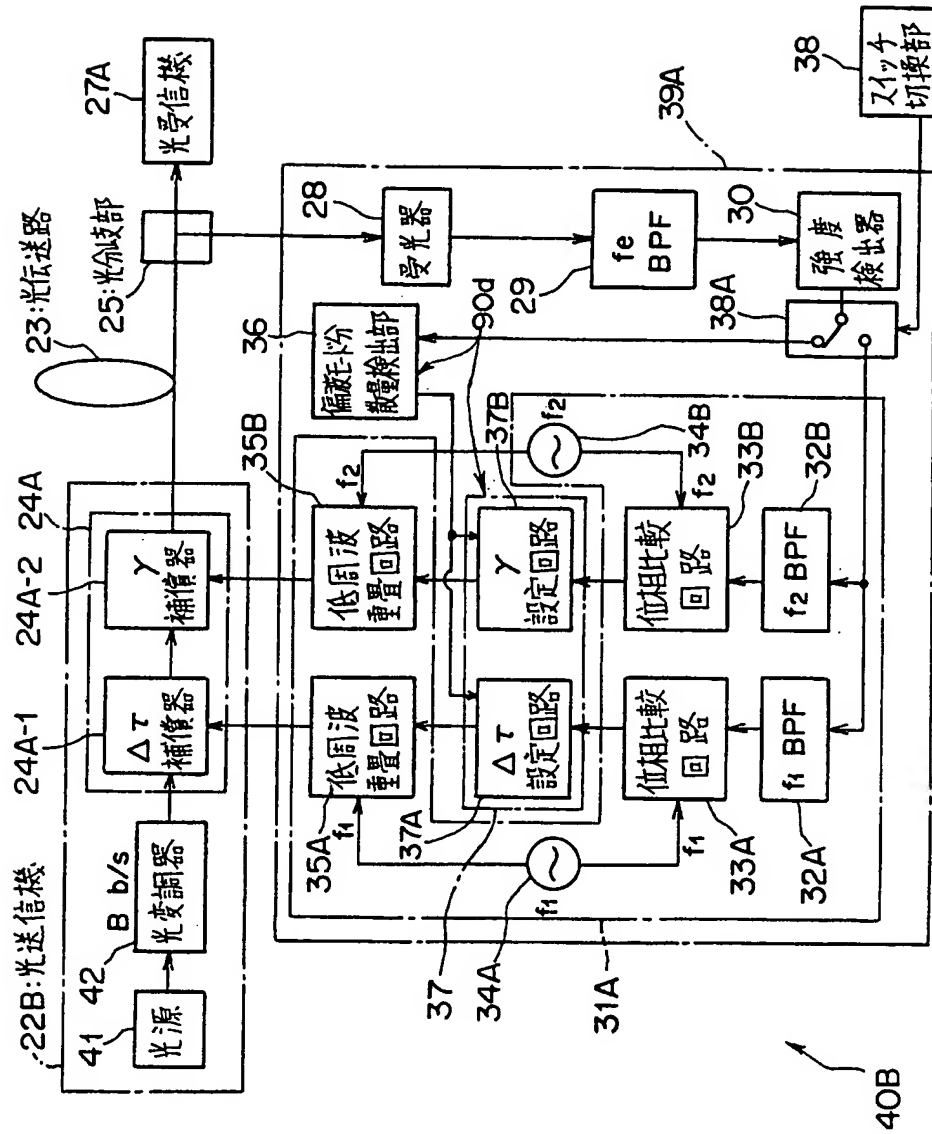


図 29

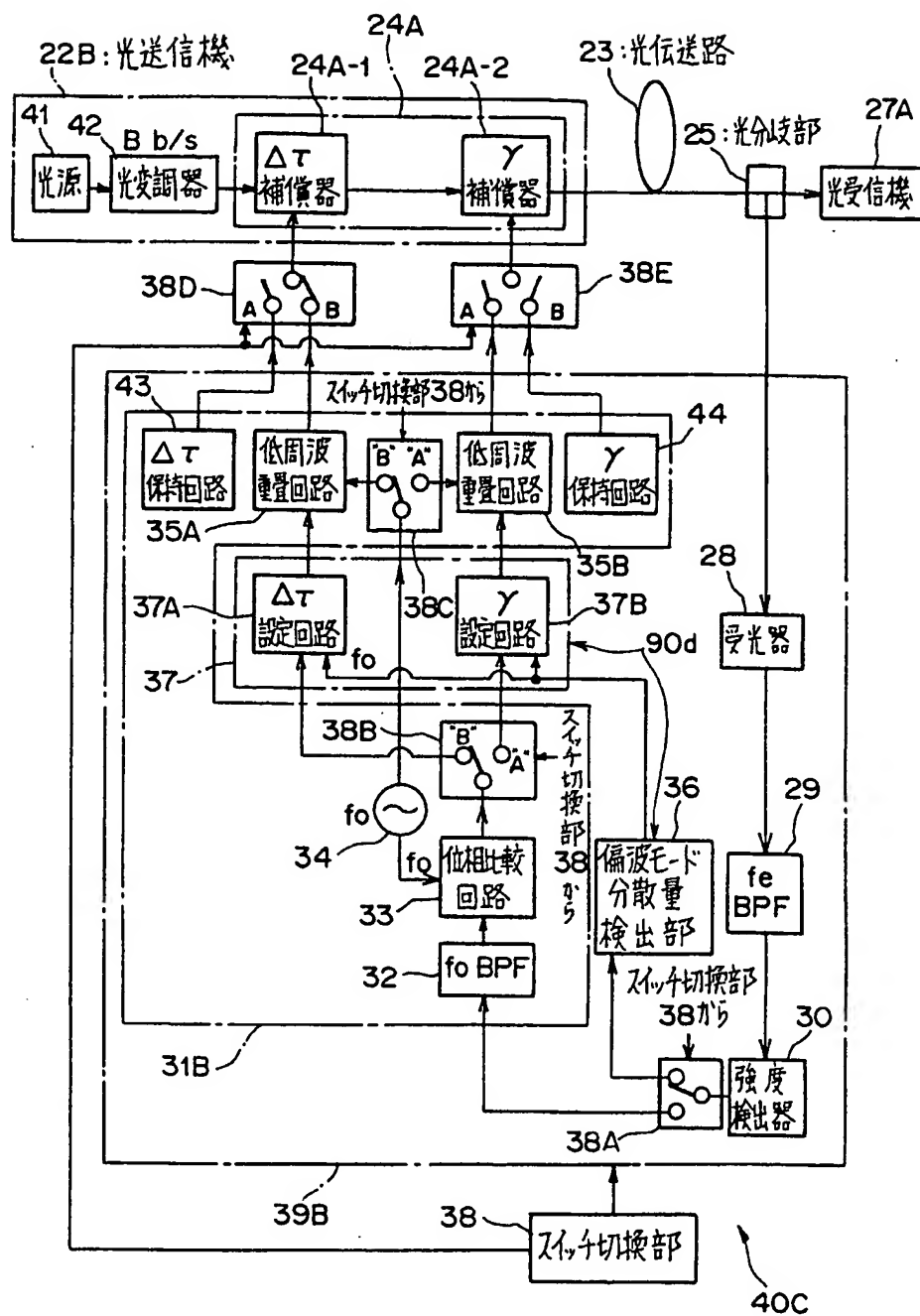


図 30

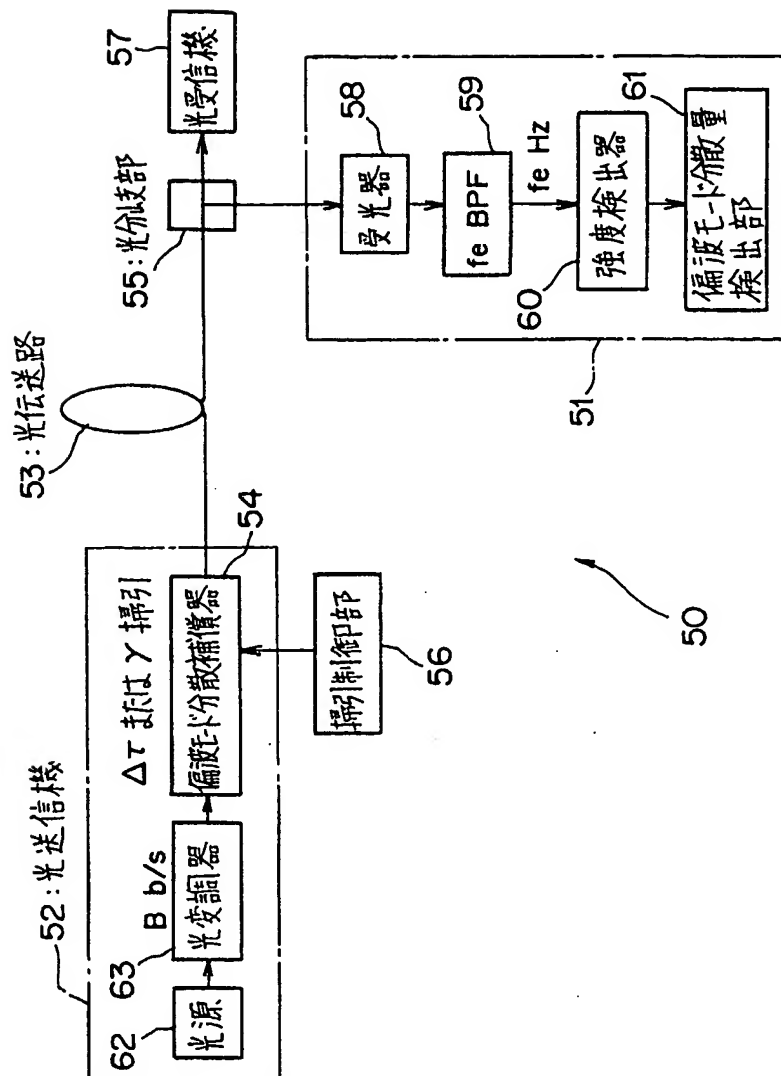


図 31(a)

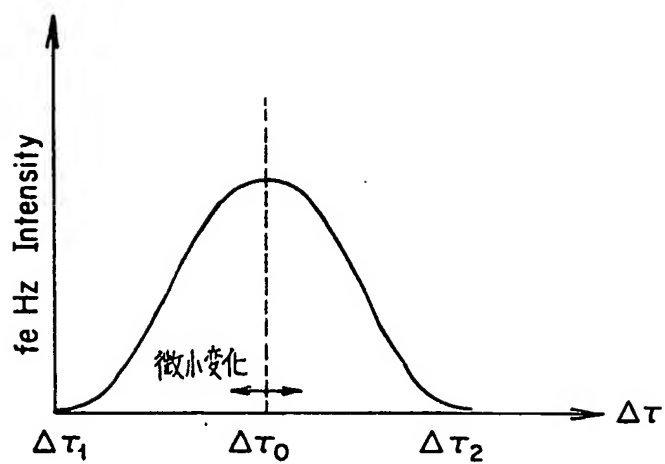


図 31(b)

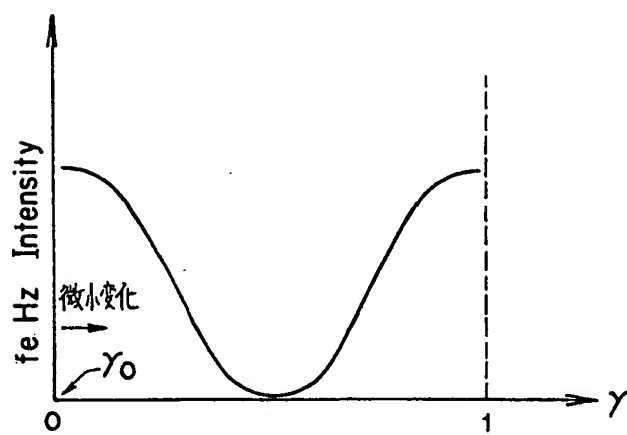


図 32

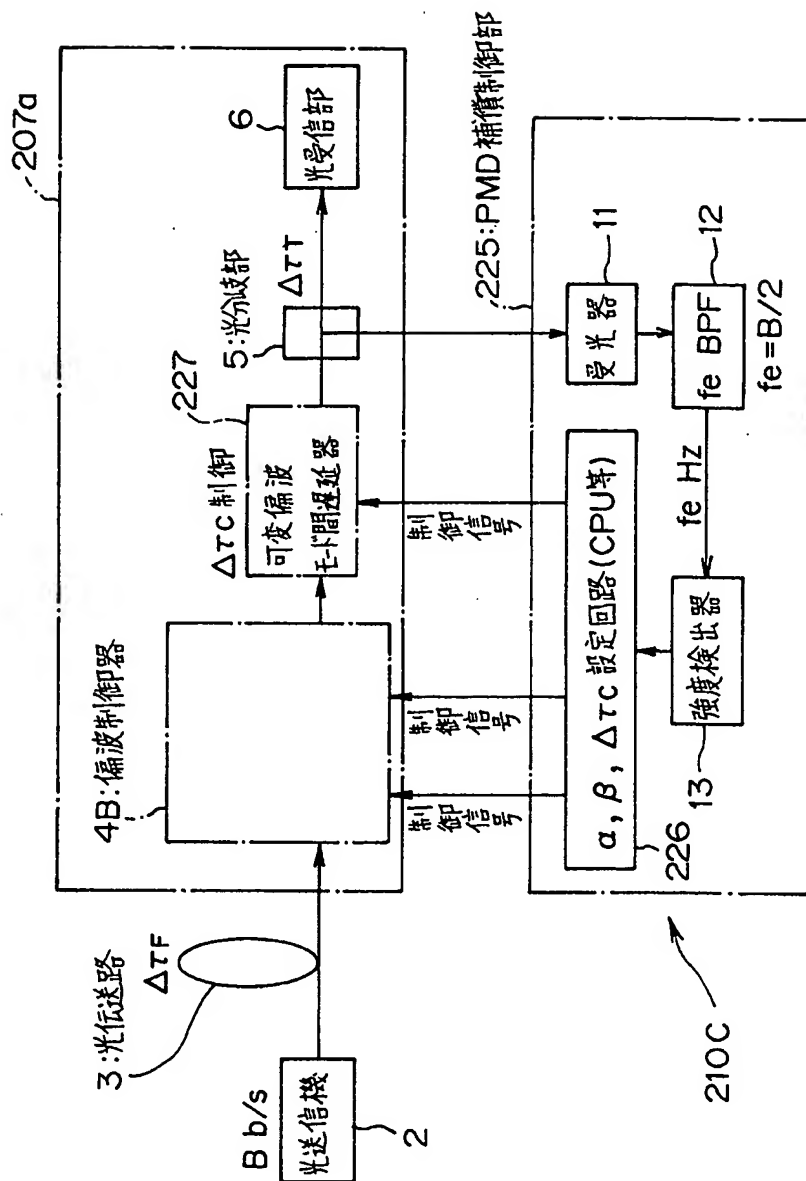


図 33

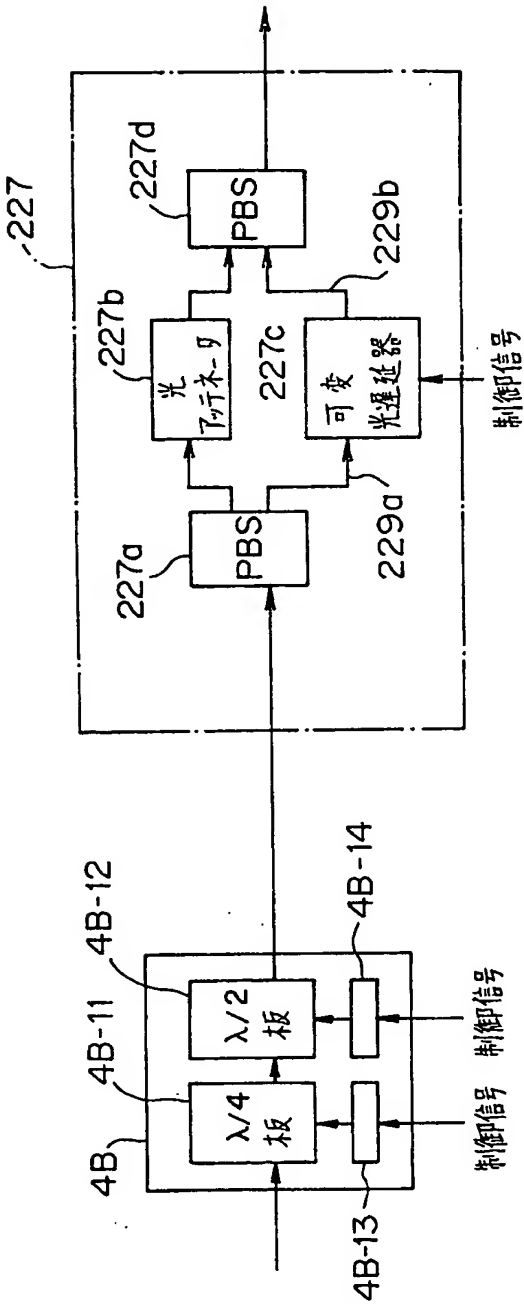
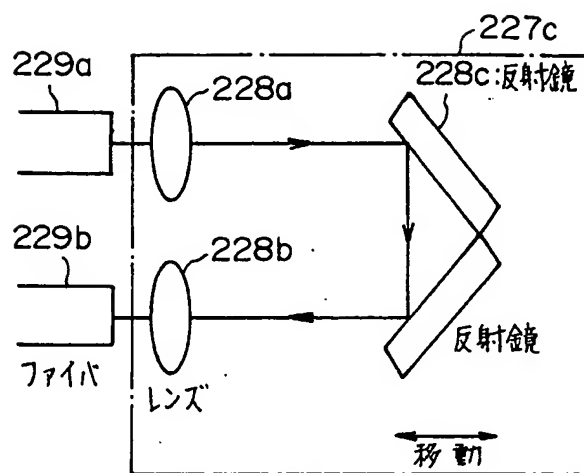
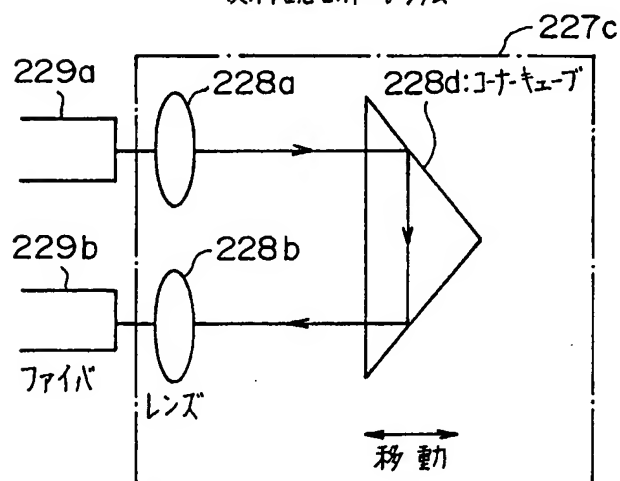


図 34(a)



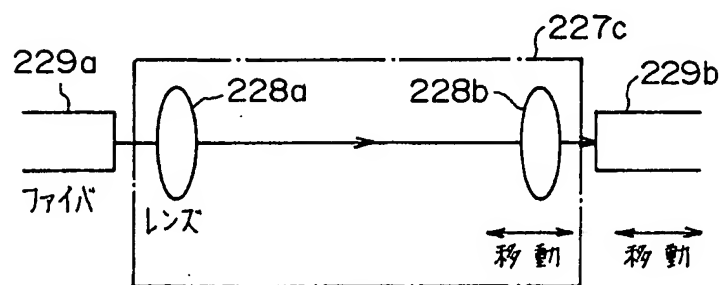
反射鏡を用いる方法

図 34(b)



コーナキューブを用いる方法

図 34(c)



ファイバを移動する方法

図 35

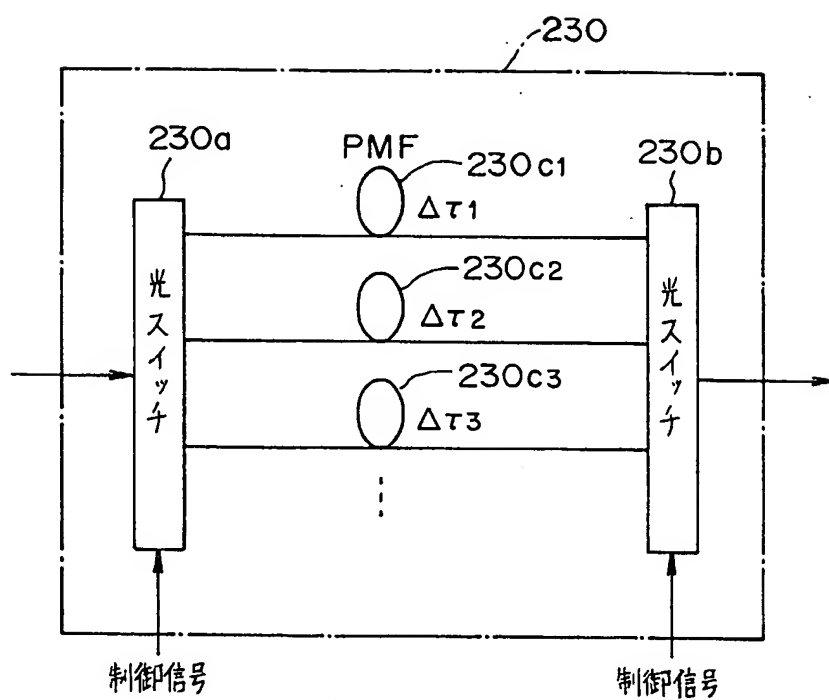




図 36

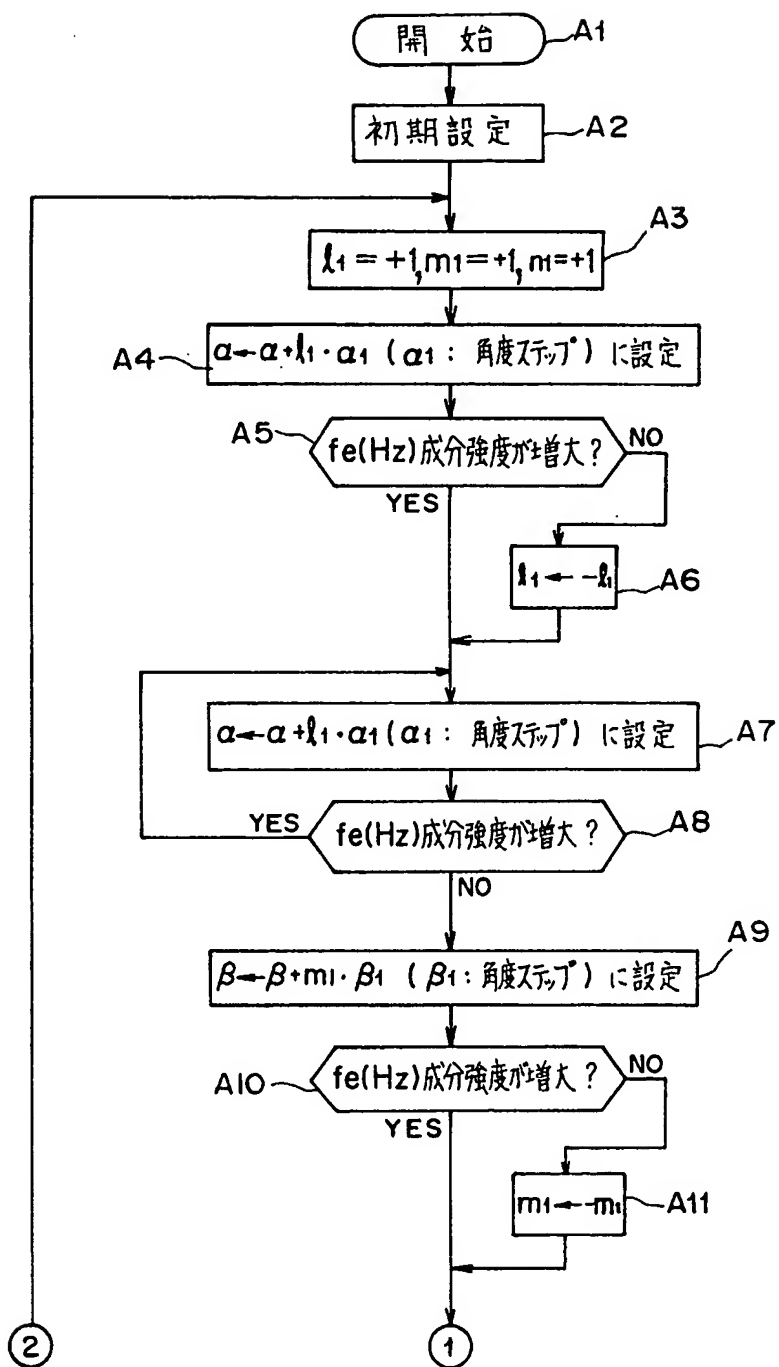


図 37

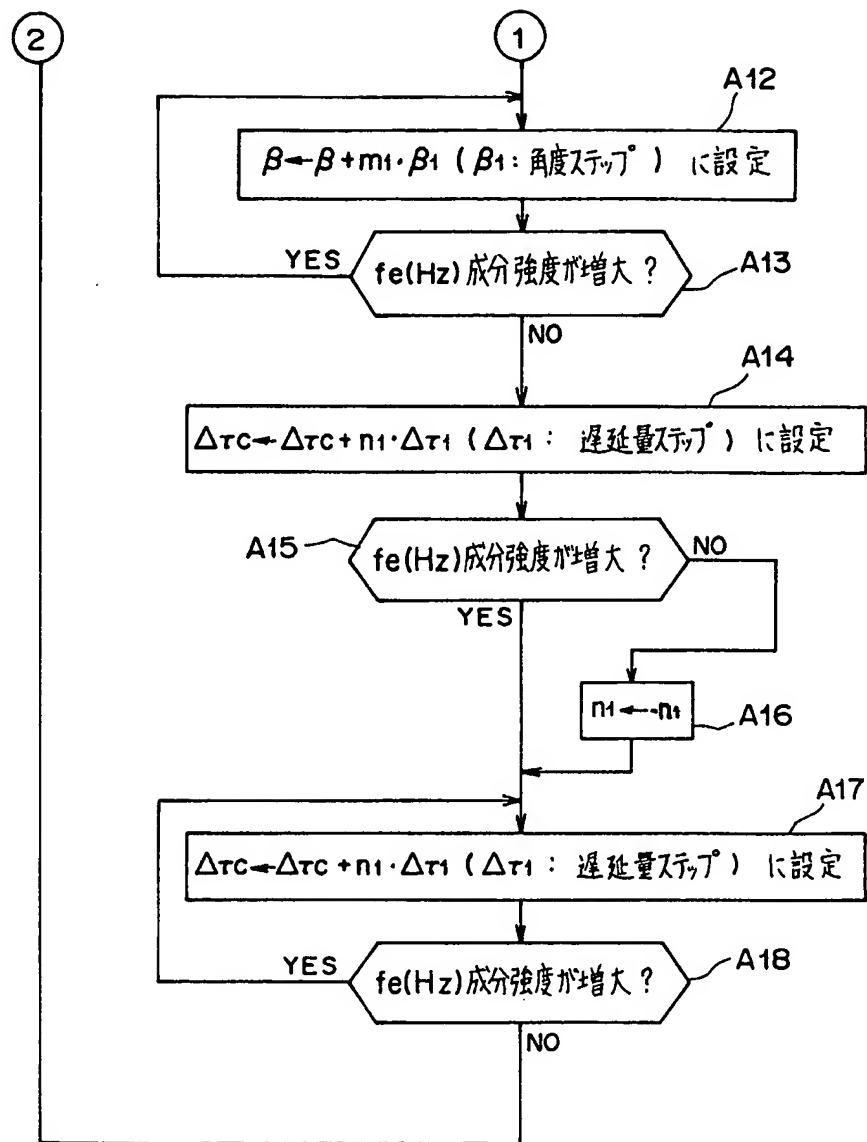


図 38

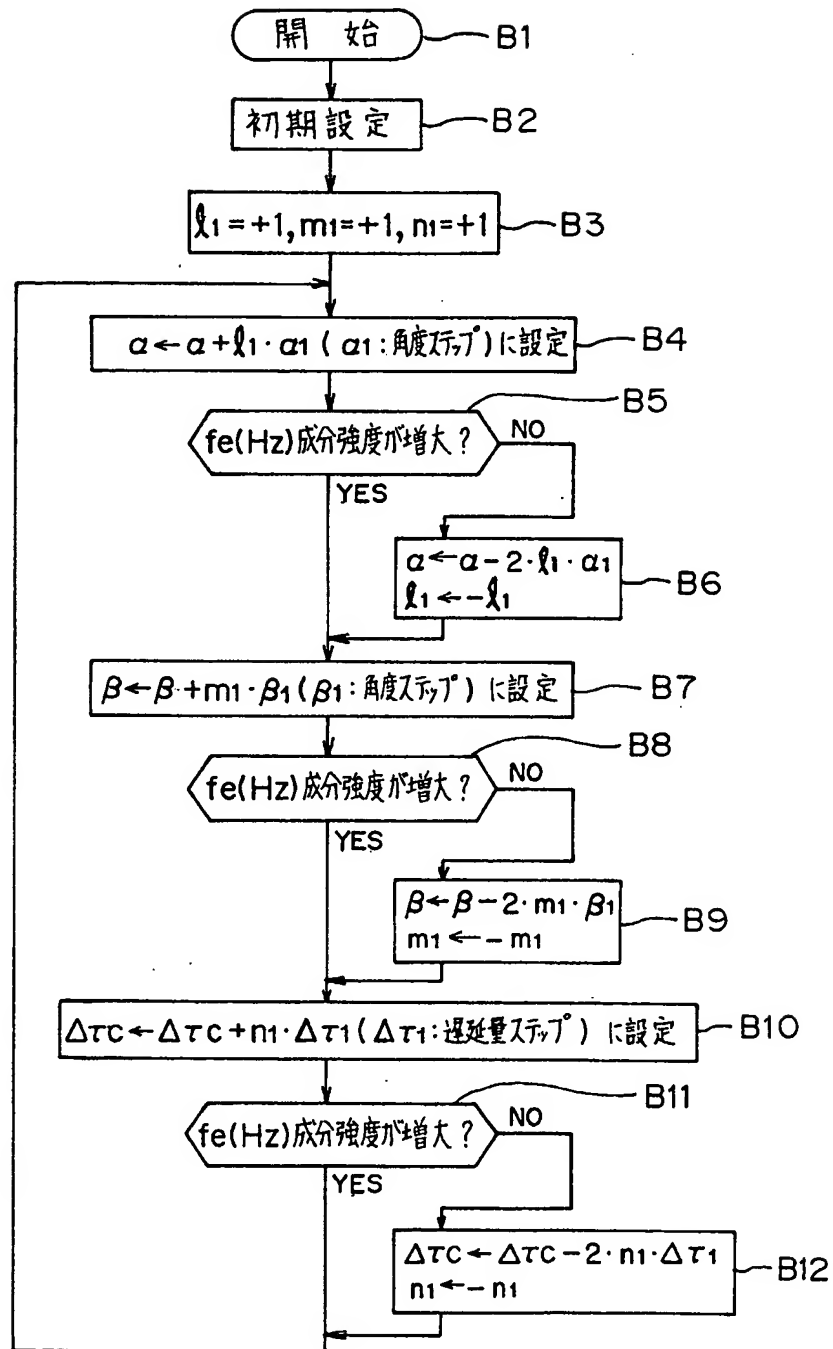


図 39

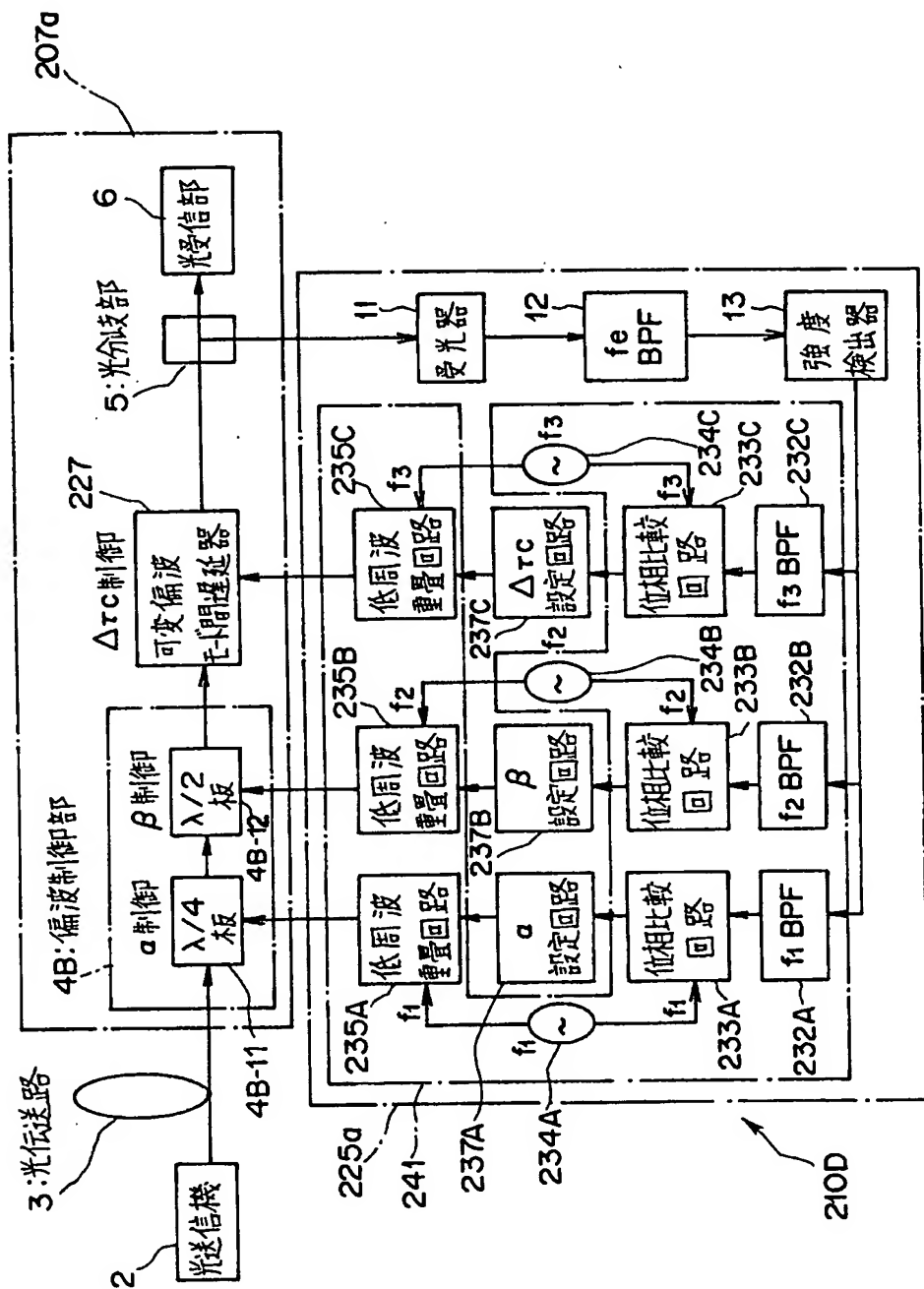


図 40

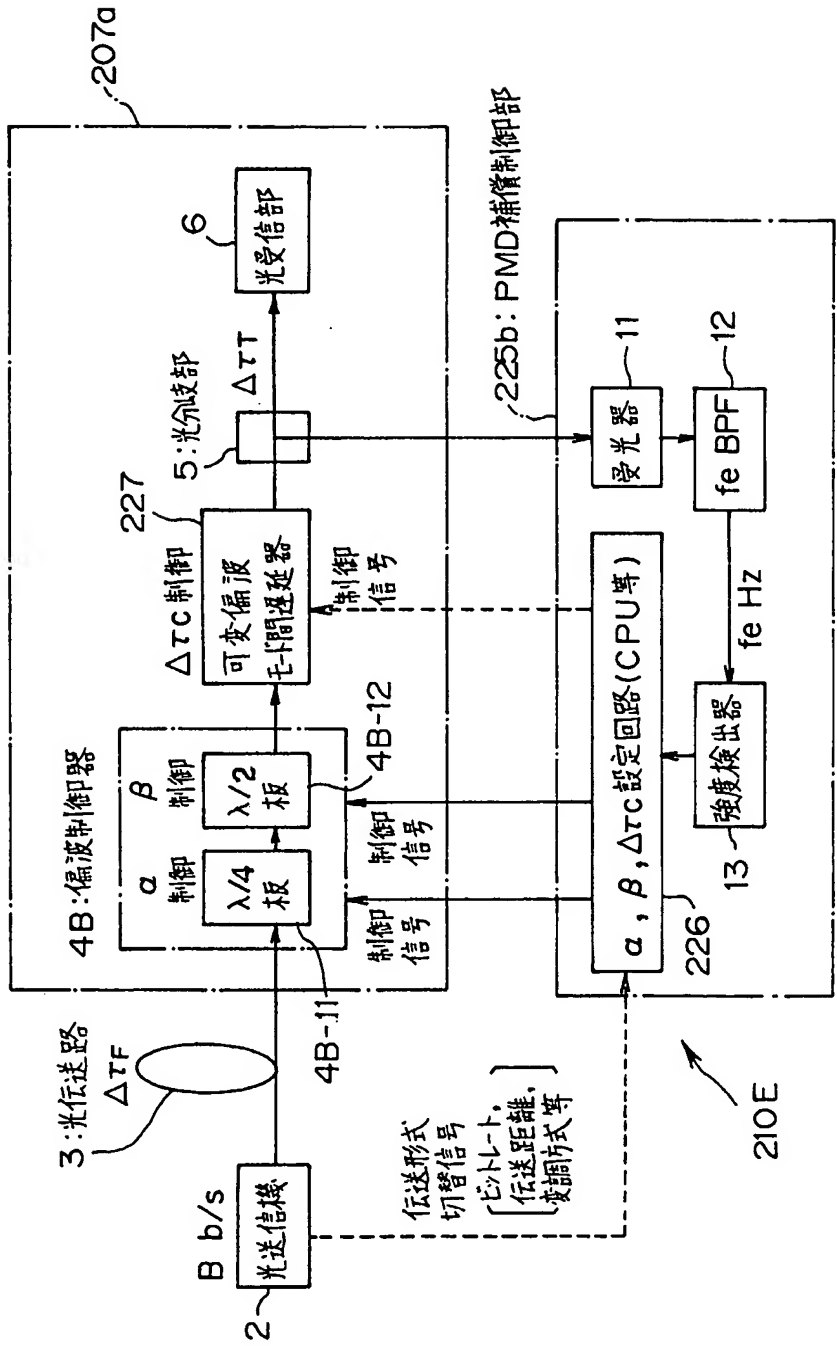


図 41

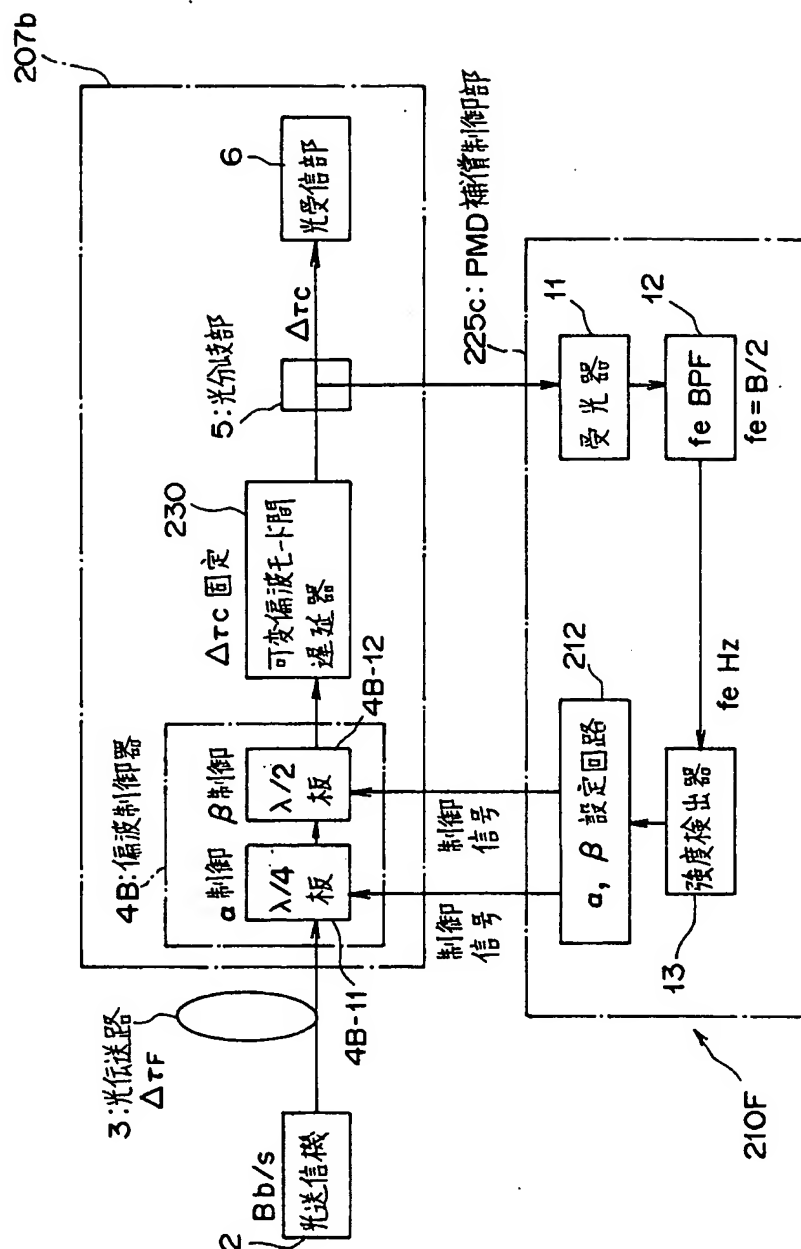


図 42

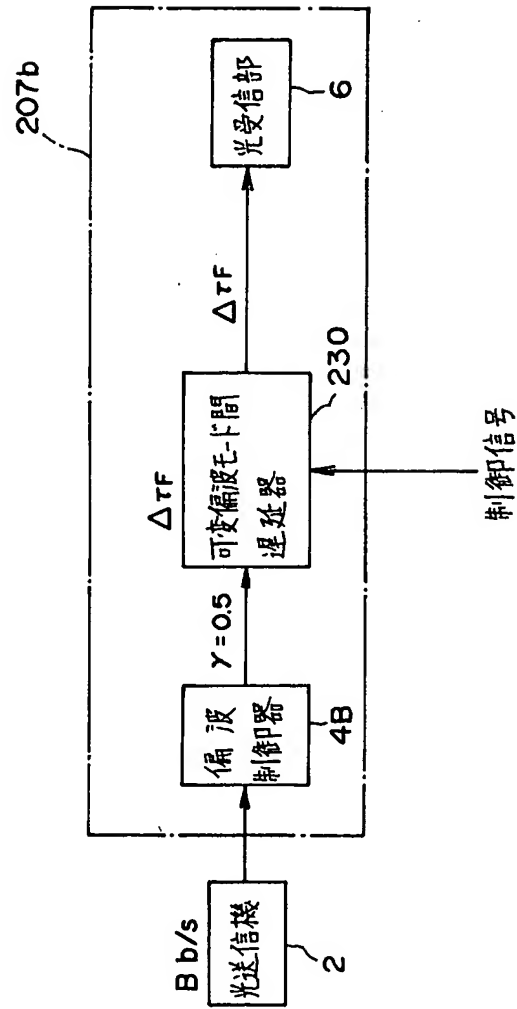


図 43

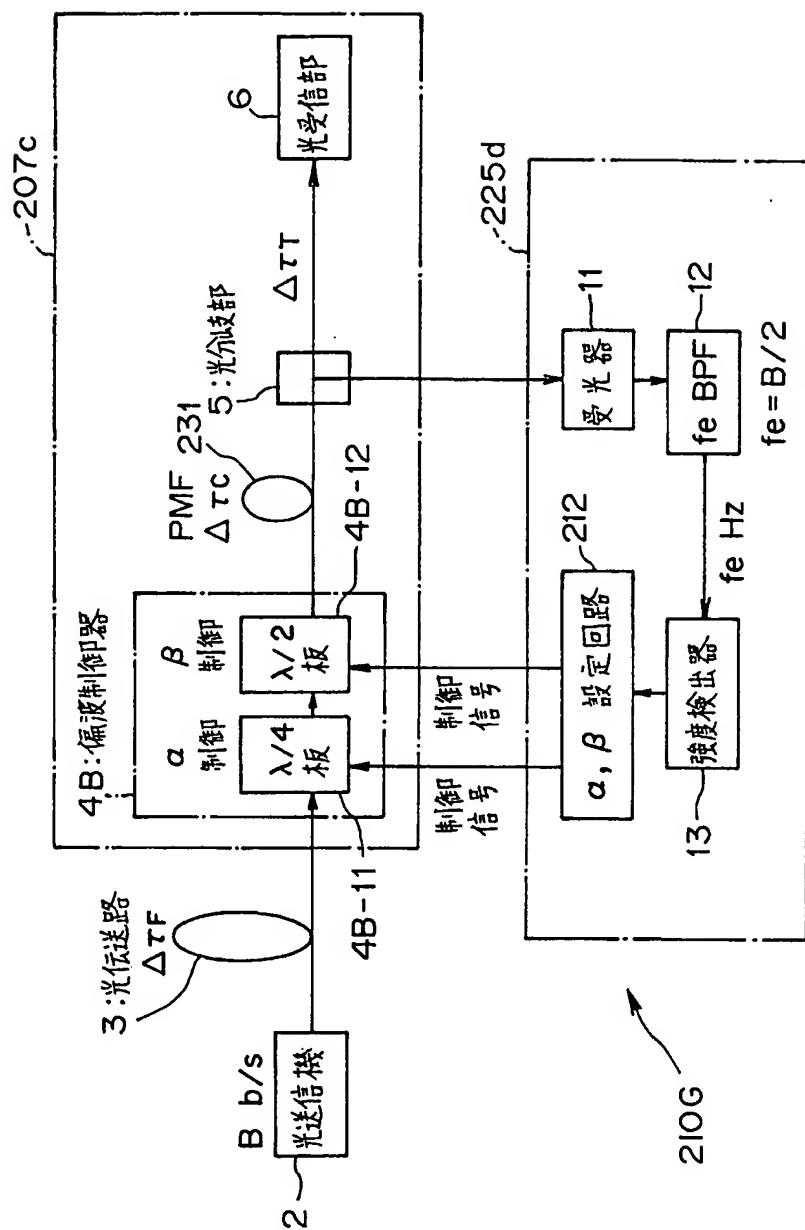




図 44 (a)

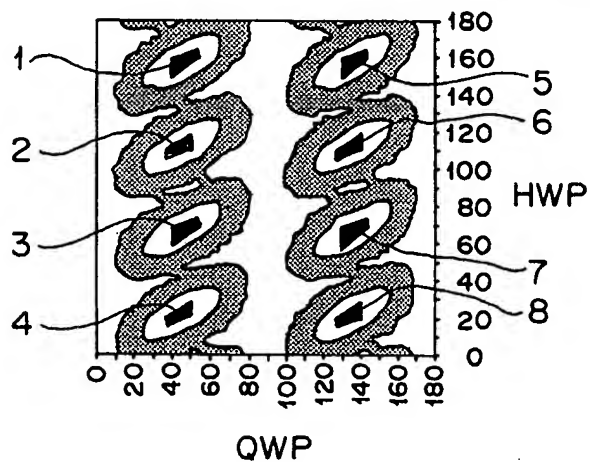
20GHz Intensity(40G NRZ;0ps+PC+10ps; $\gamma=0.5$ )

図 44 (b)

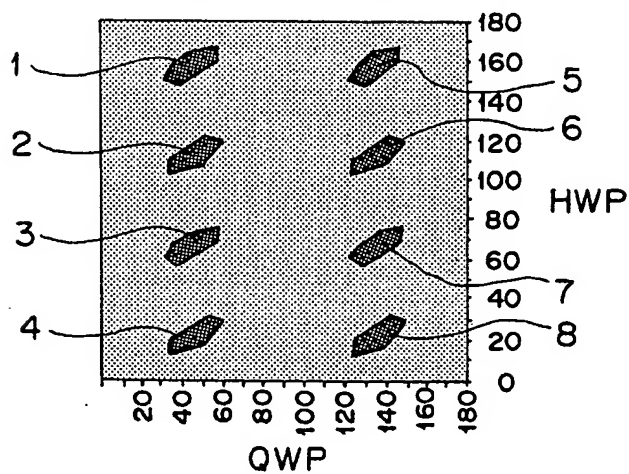
Eye-opening(40G NRZ;0ps+PC+10ps; $\gamma=0.5$ )

図 45(a)

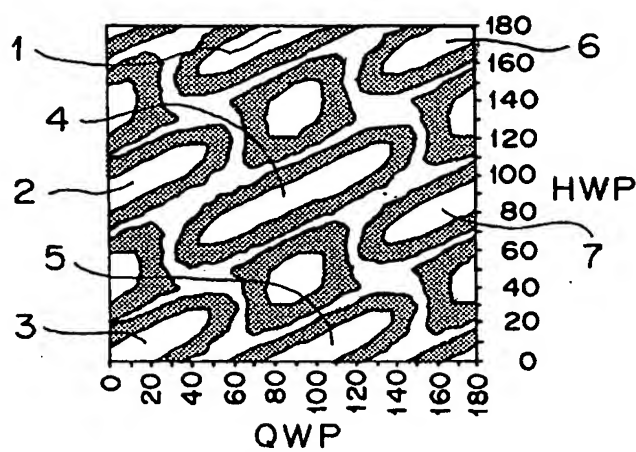
20GHz Intensity(40G NRZ;5ps+PC+10ps;  $\gamma=0.5$ )

図 45(b)

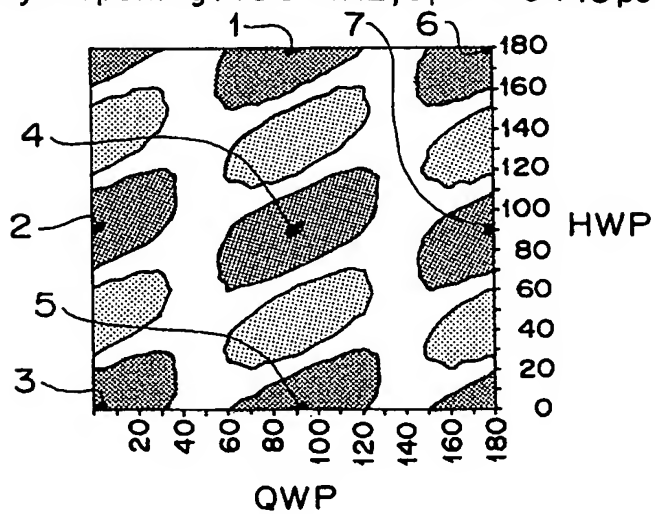
Eye-opening(40G NRZ,5ps+PC+10ps,  $\gamma=0.5$ )

図 46 ( a )

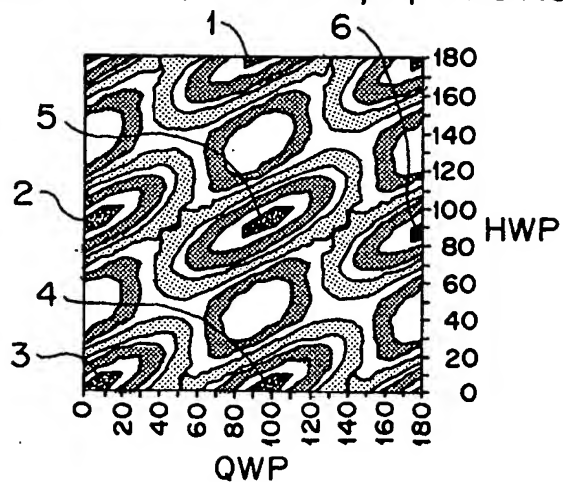
20GHz Intensity(40G NRZ;10ps+PC+10ps; $\gamma=0.5$ )

図 46 ( b )

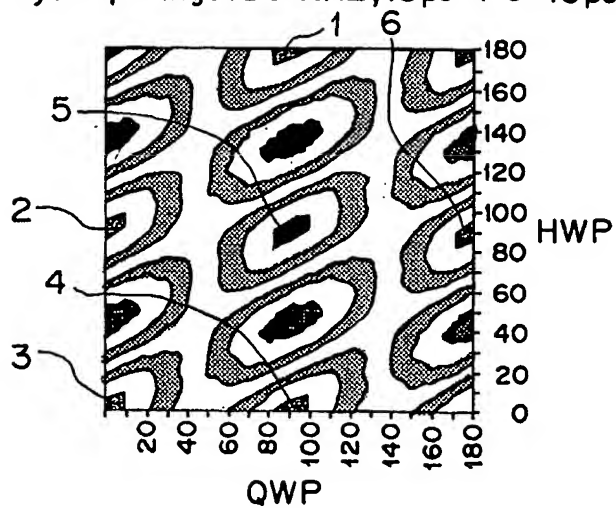
Eye-opening(40G NRZ,10ps+PC+10ps, $\gamma=0.5$ )

図 47 (a)

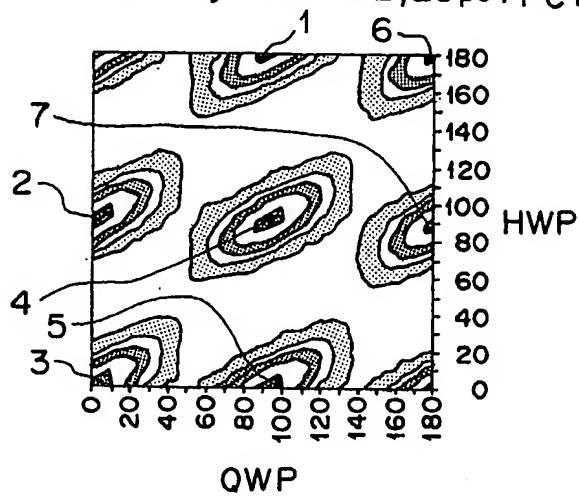
20GHz Intensity (40G NRZ; 20ps+PC+10ps;  $\gamma=0.5$ )

図 47 (b)

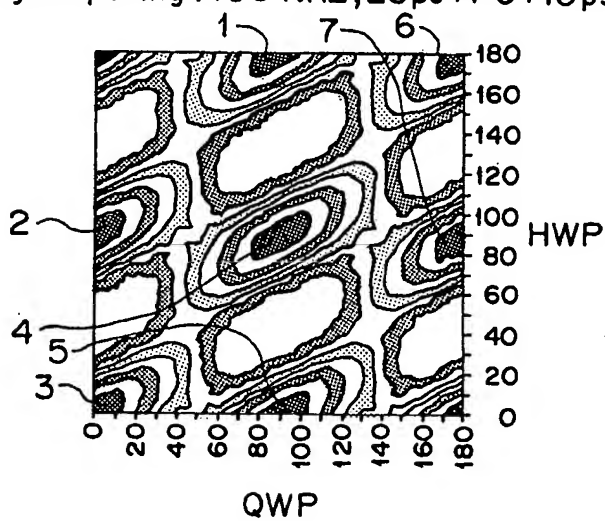
Eye-opening (40G NRZ; 20ps+PC+10ps;  $\gamma=0.5$ )

図 48 (a)

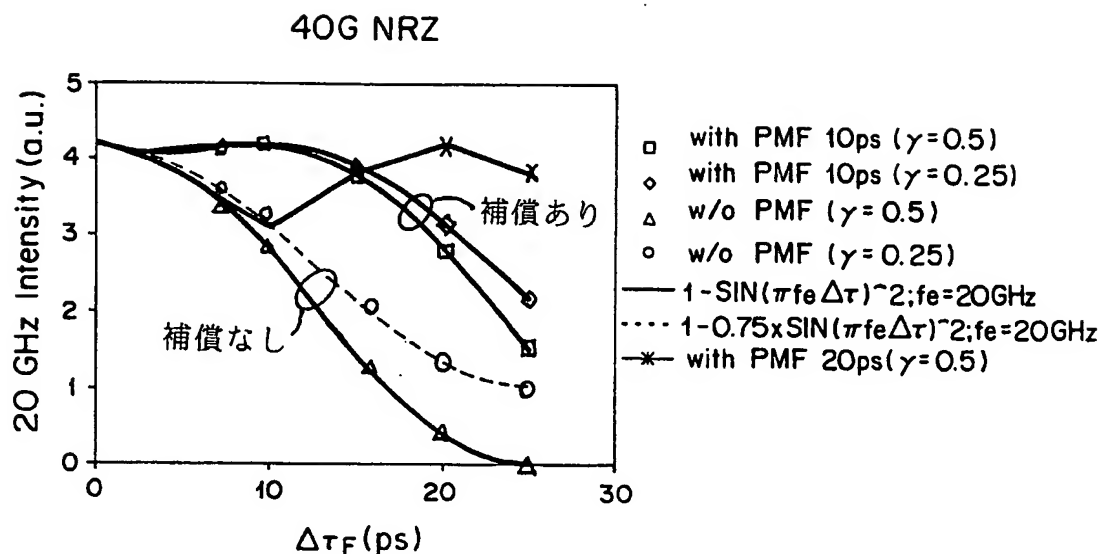


図 48 (b)

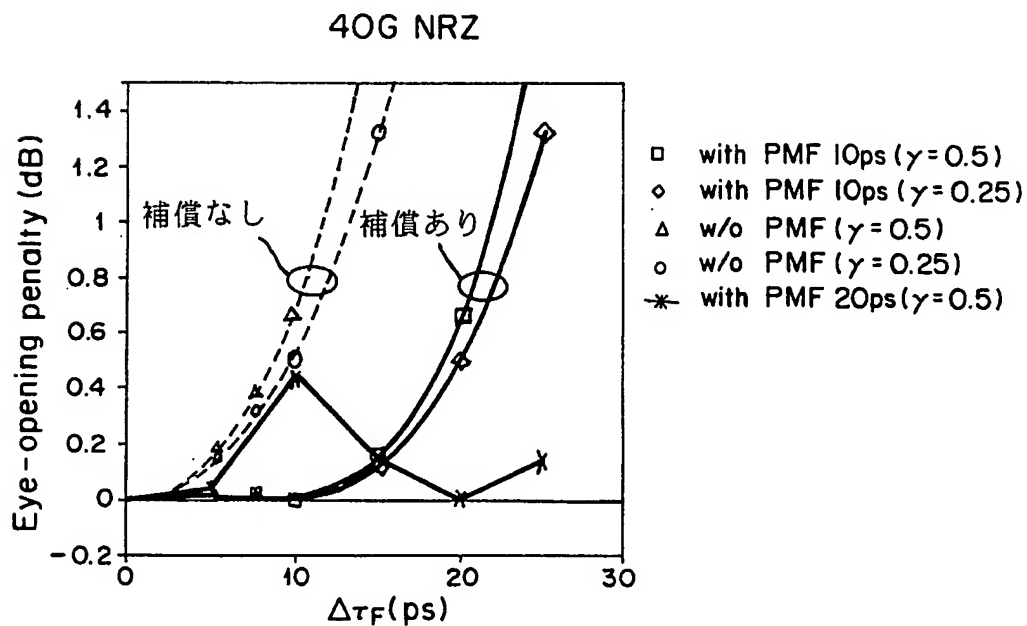


図 49 (a)

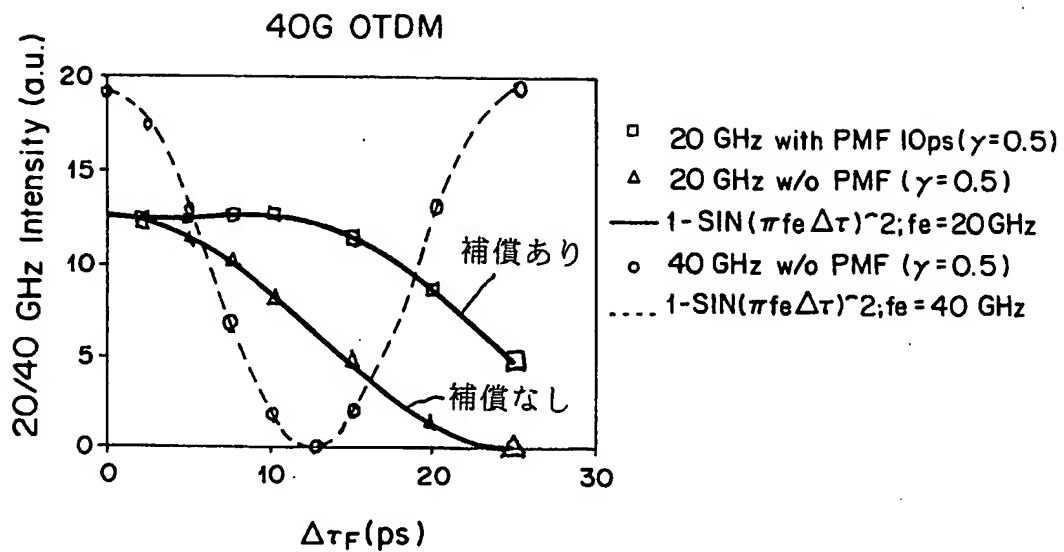


図 49 (b)

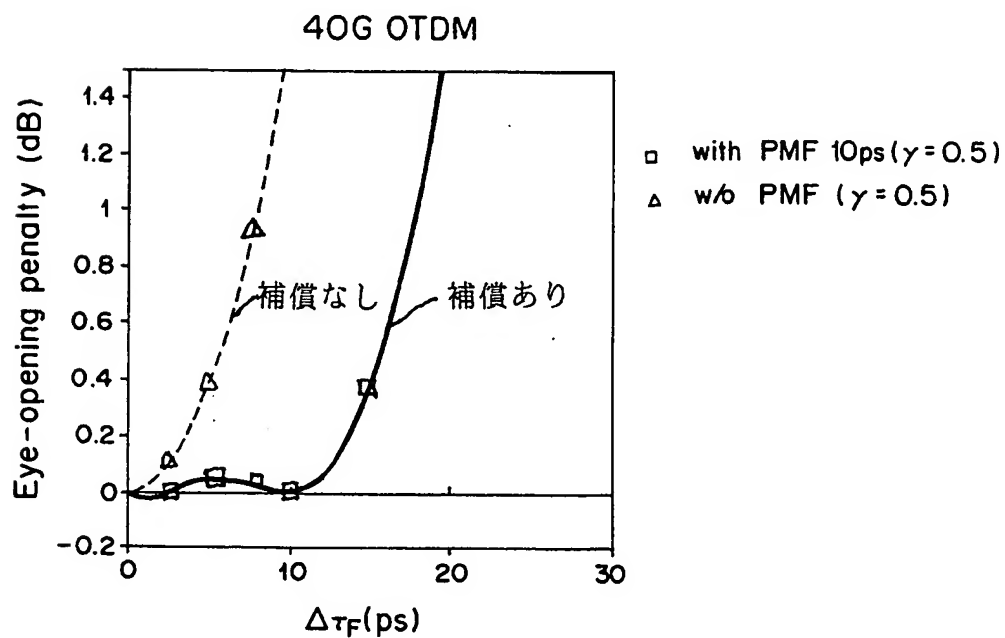


図 50(a)

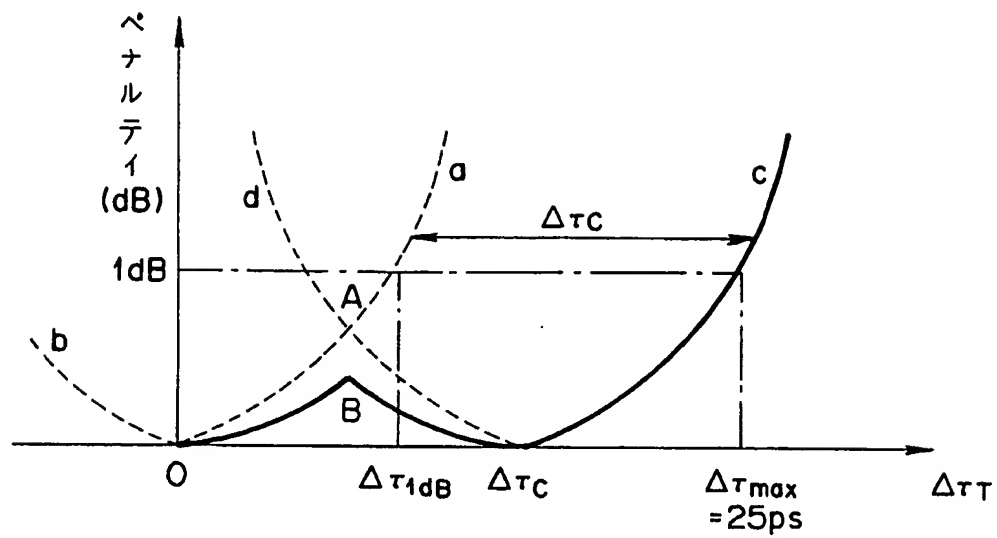
遅延量  $\Delta\tau_C$  最小の場合

図 50(b)

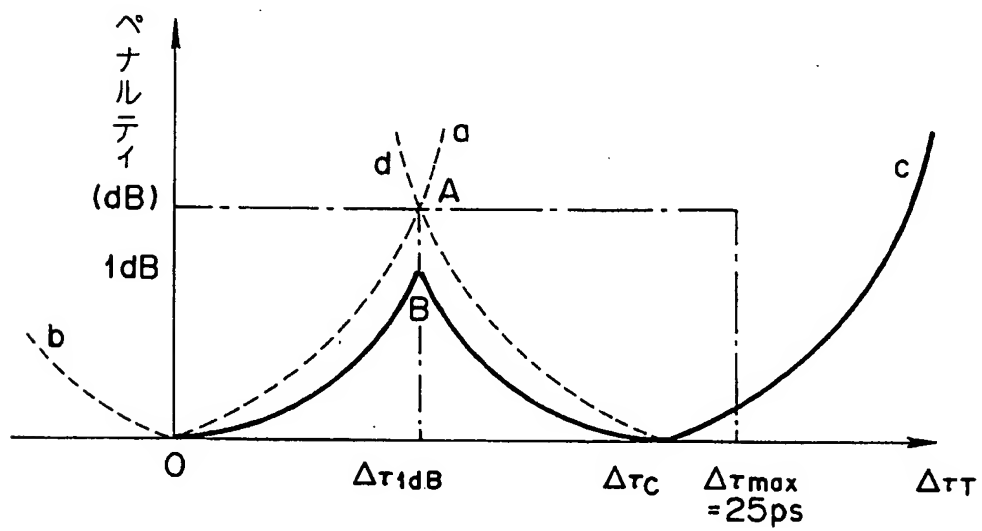
遅延量  $\Delta\tau_C$  最大の場合

図 51(a)

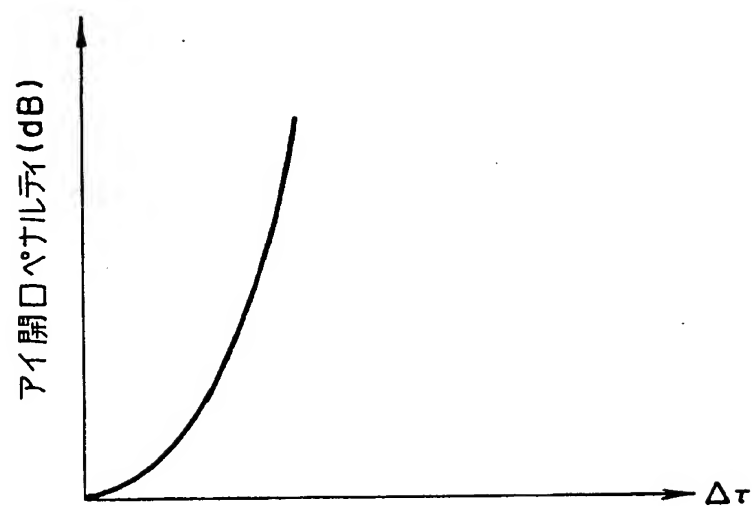


図 51(b)

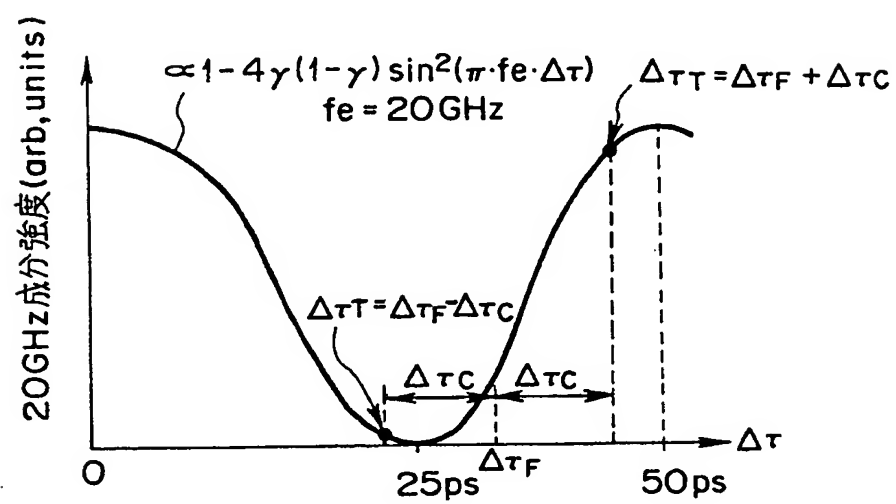




図 52

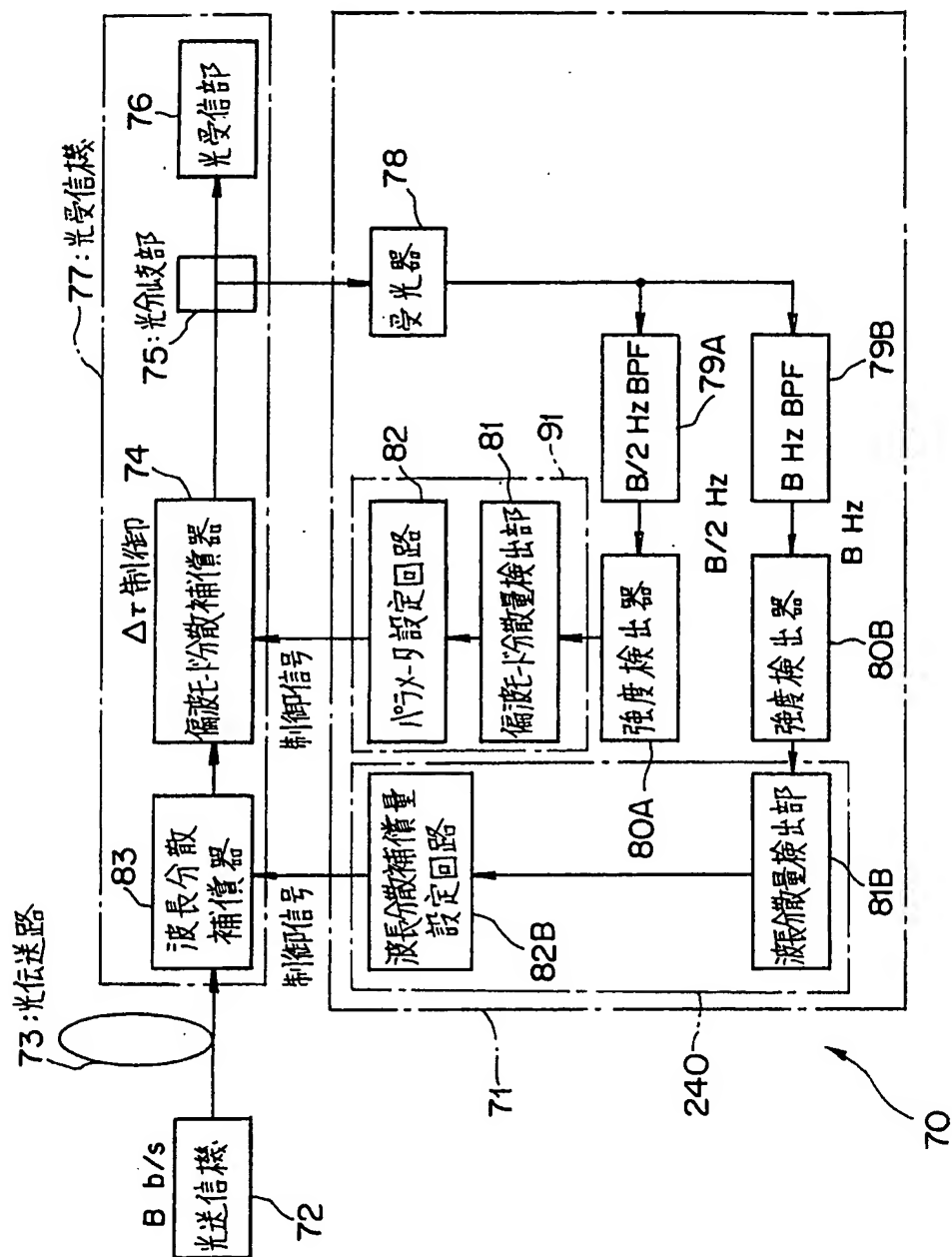
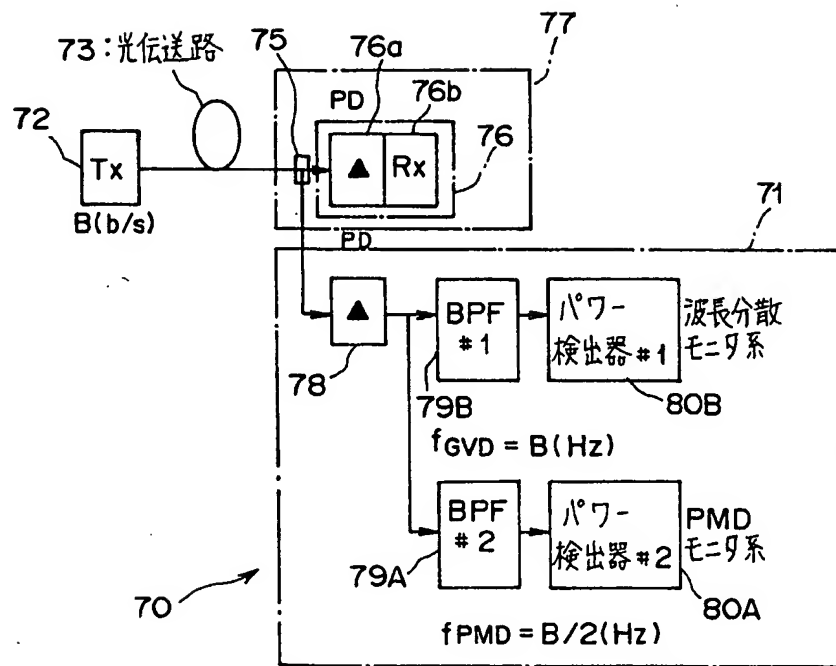


図 53



54

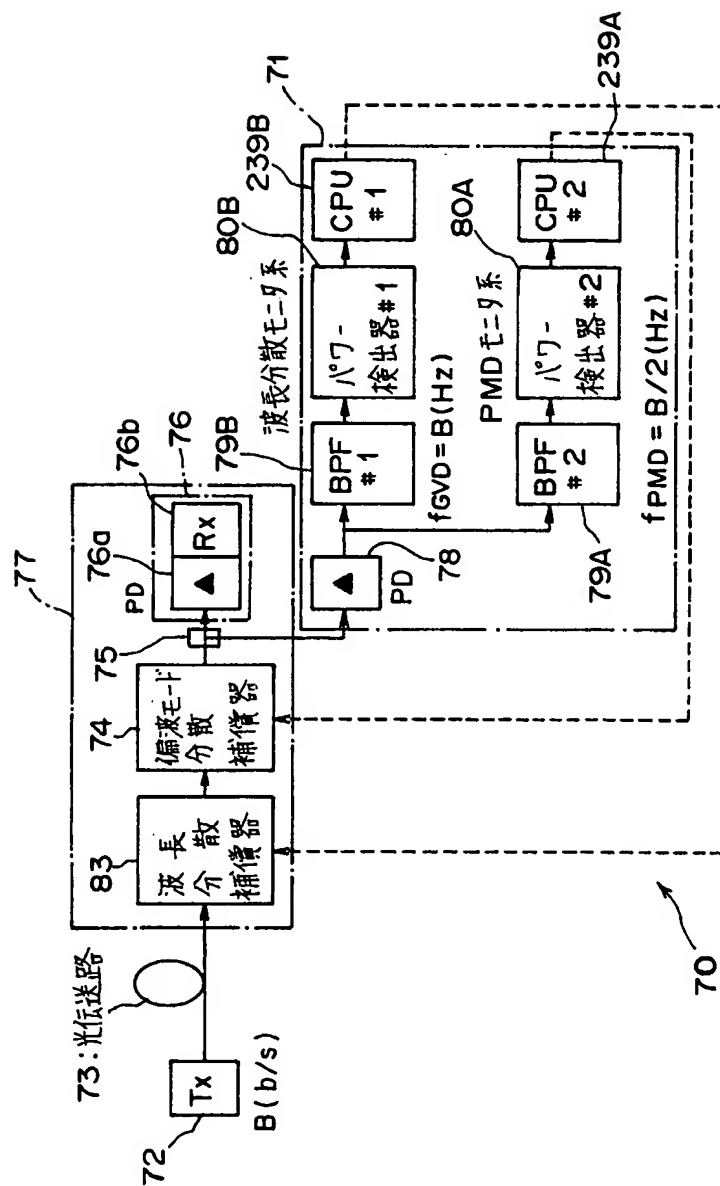


図 55

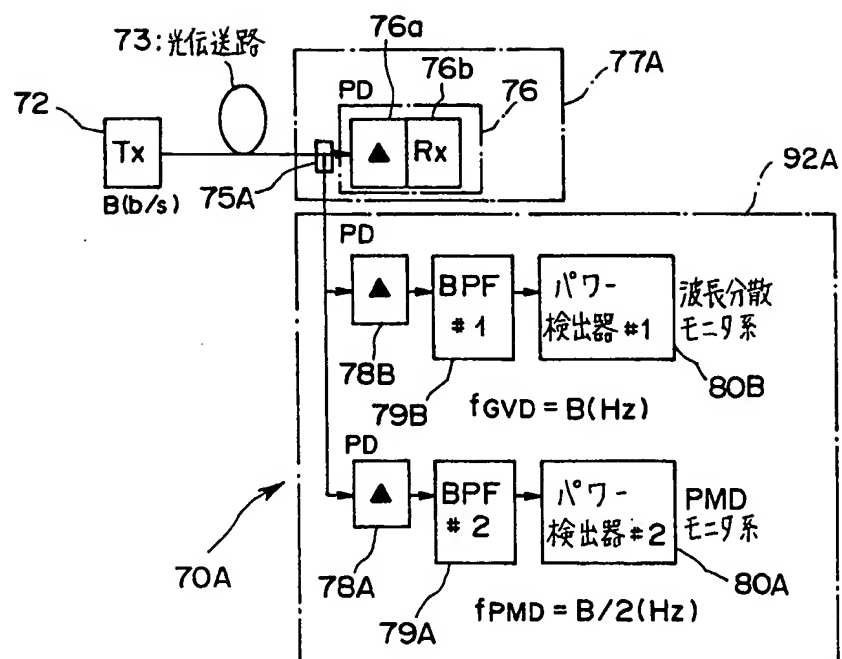


図 56

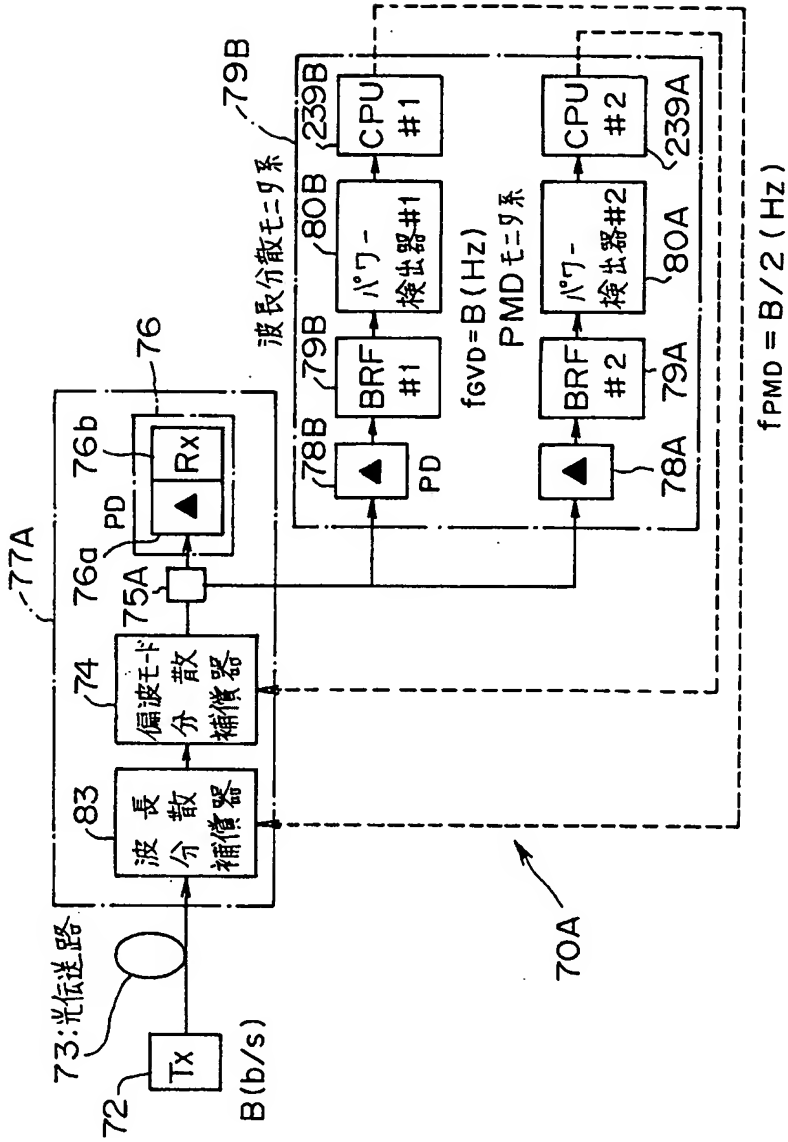


図 57

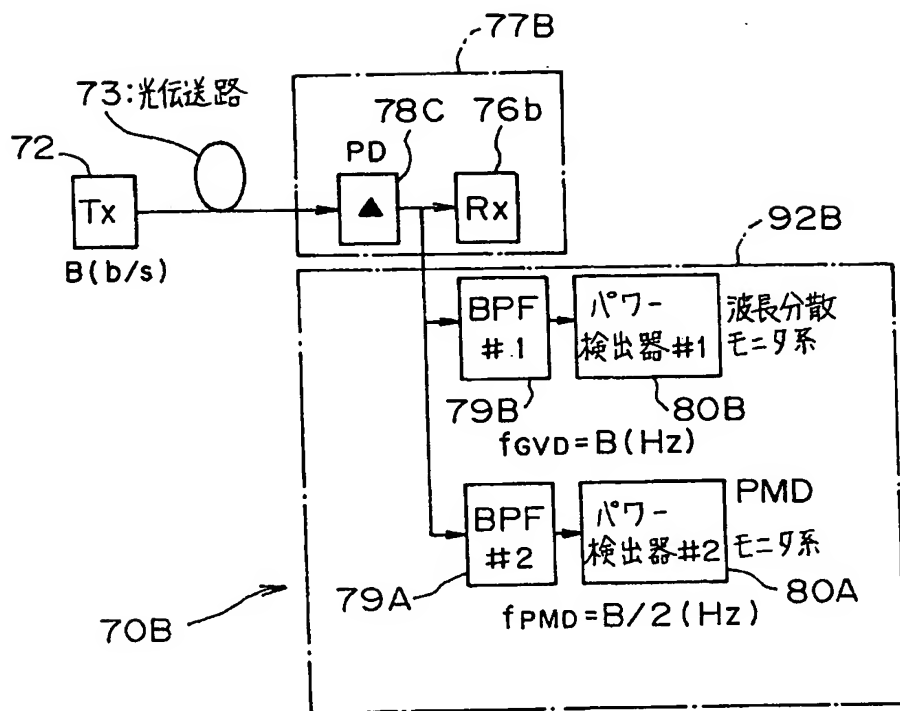


図 58

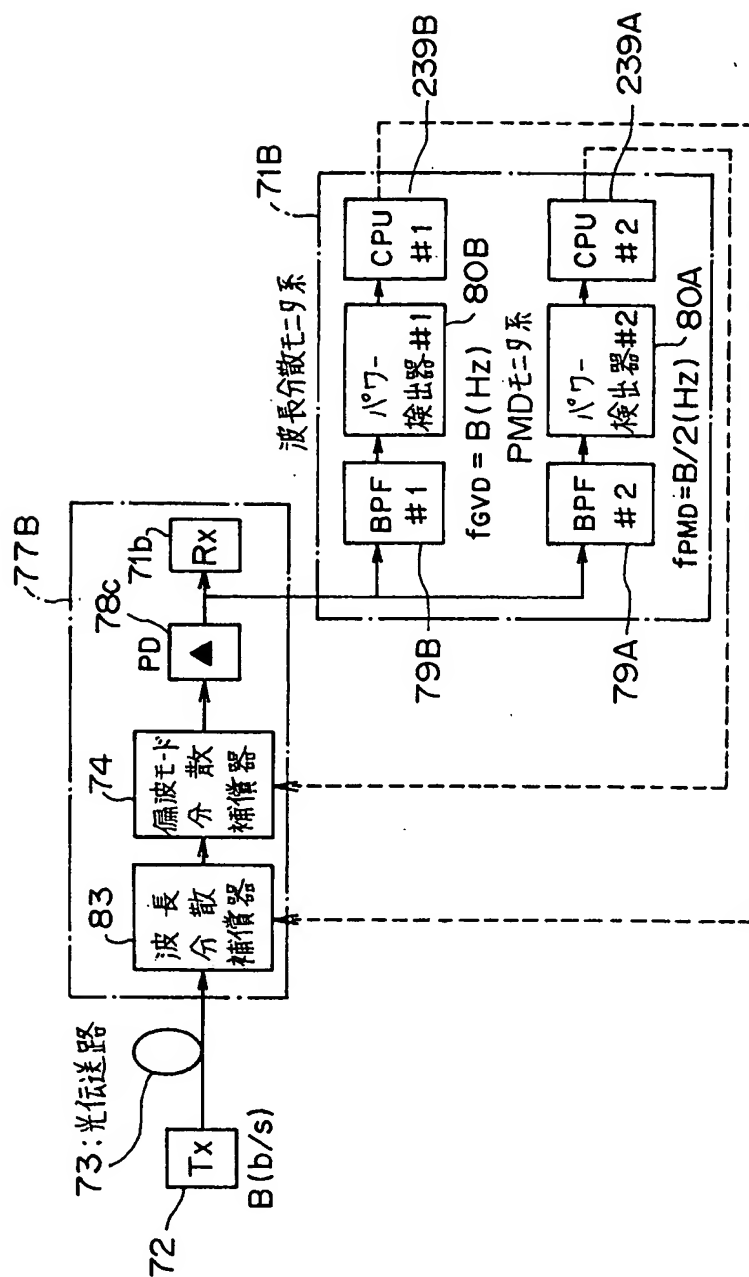


図 59

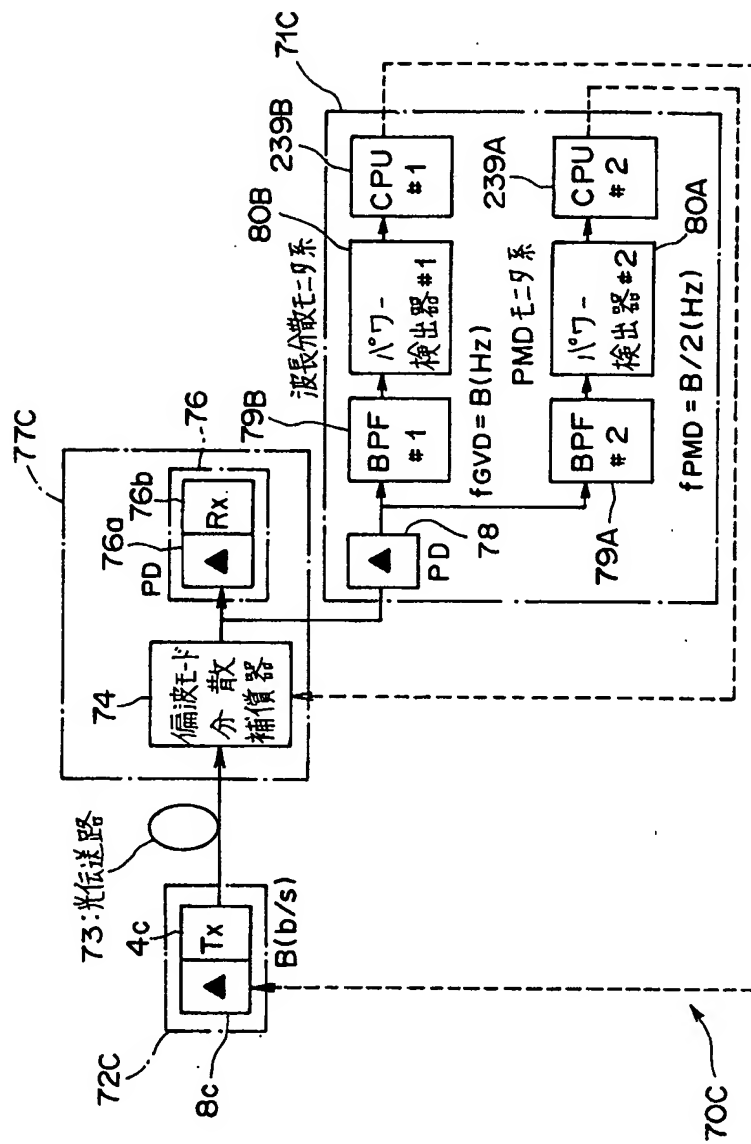




図 60

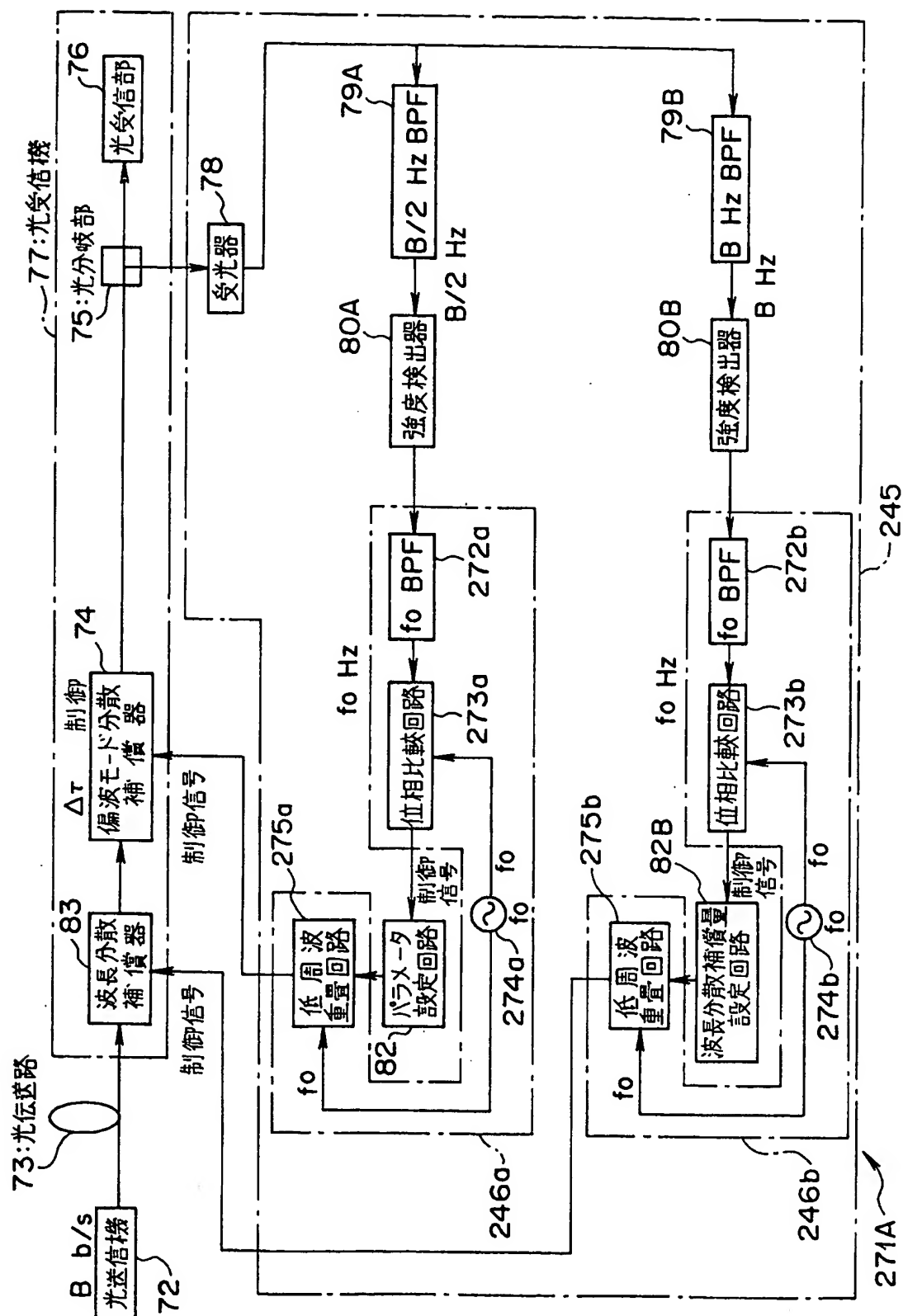
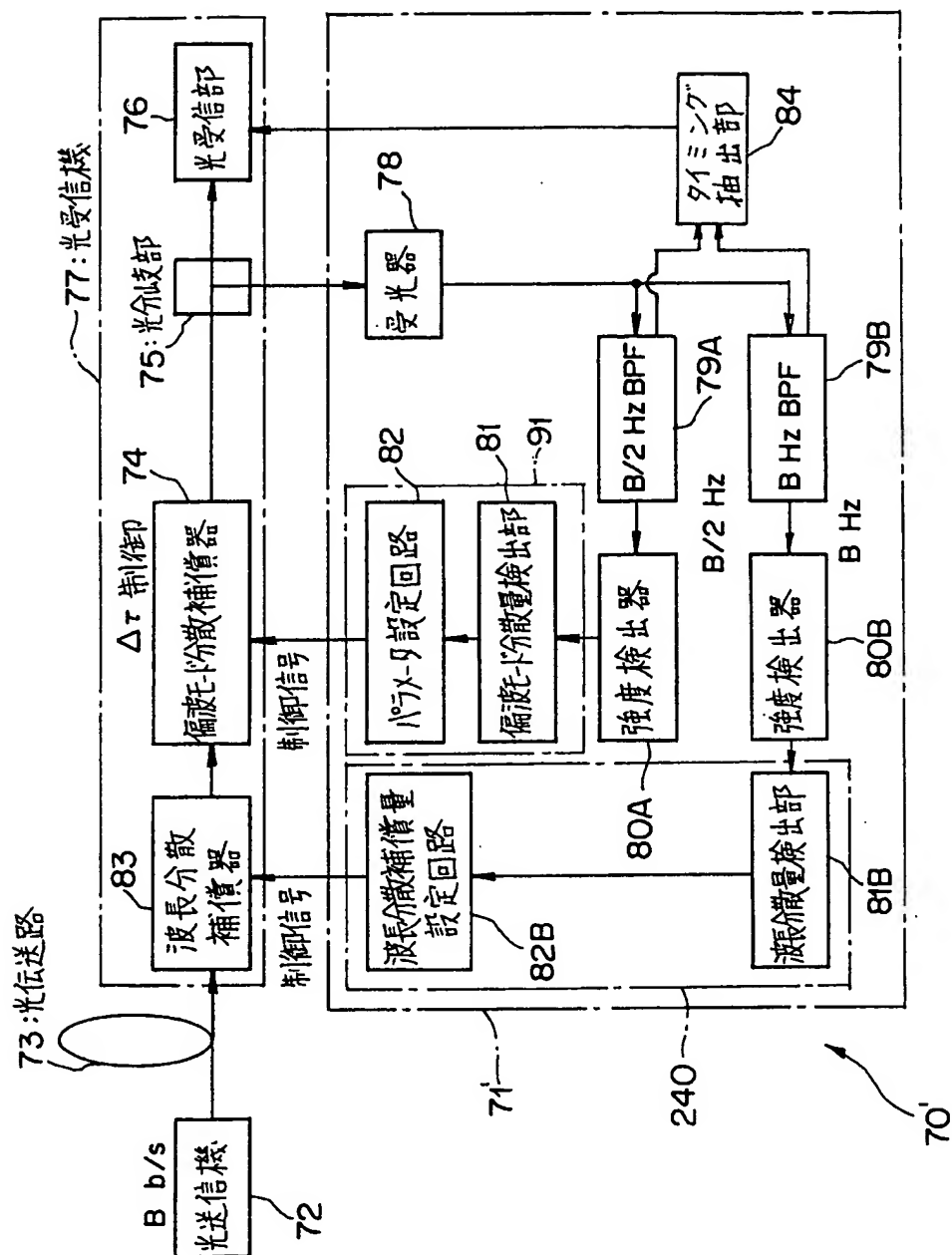
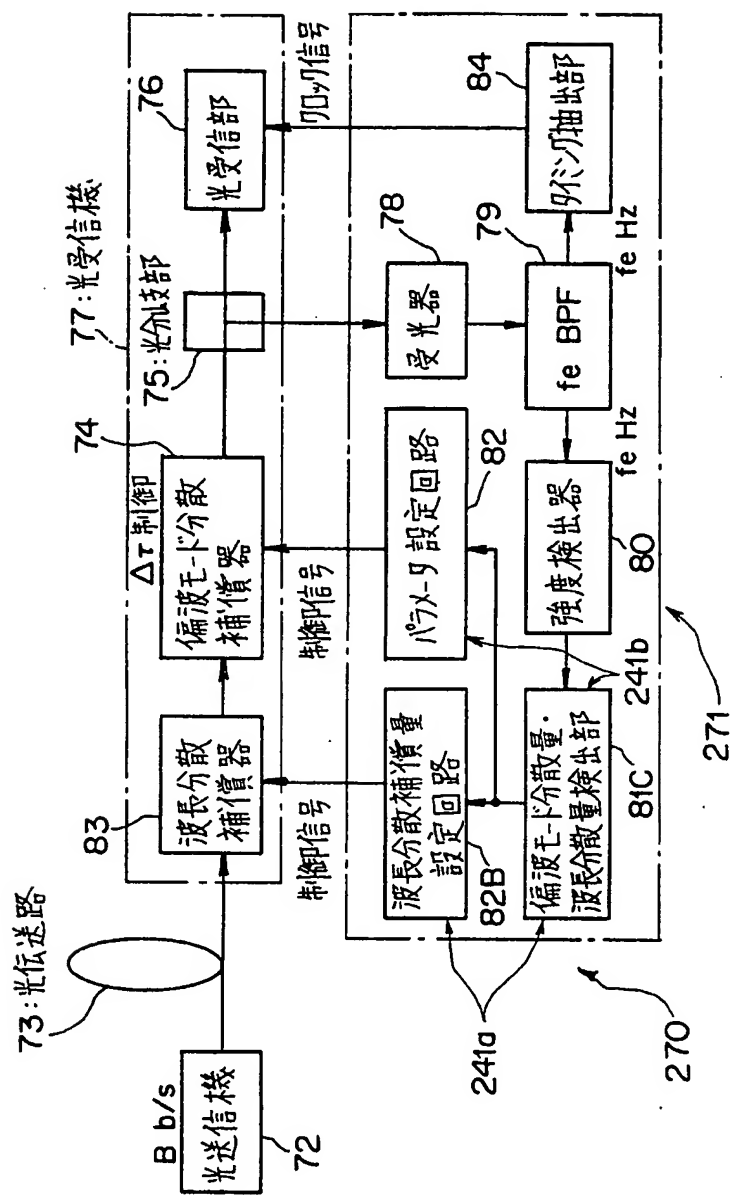


図 61



62  
[X]





64 区

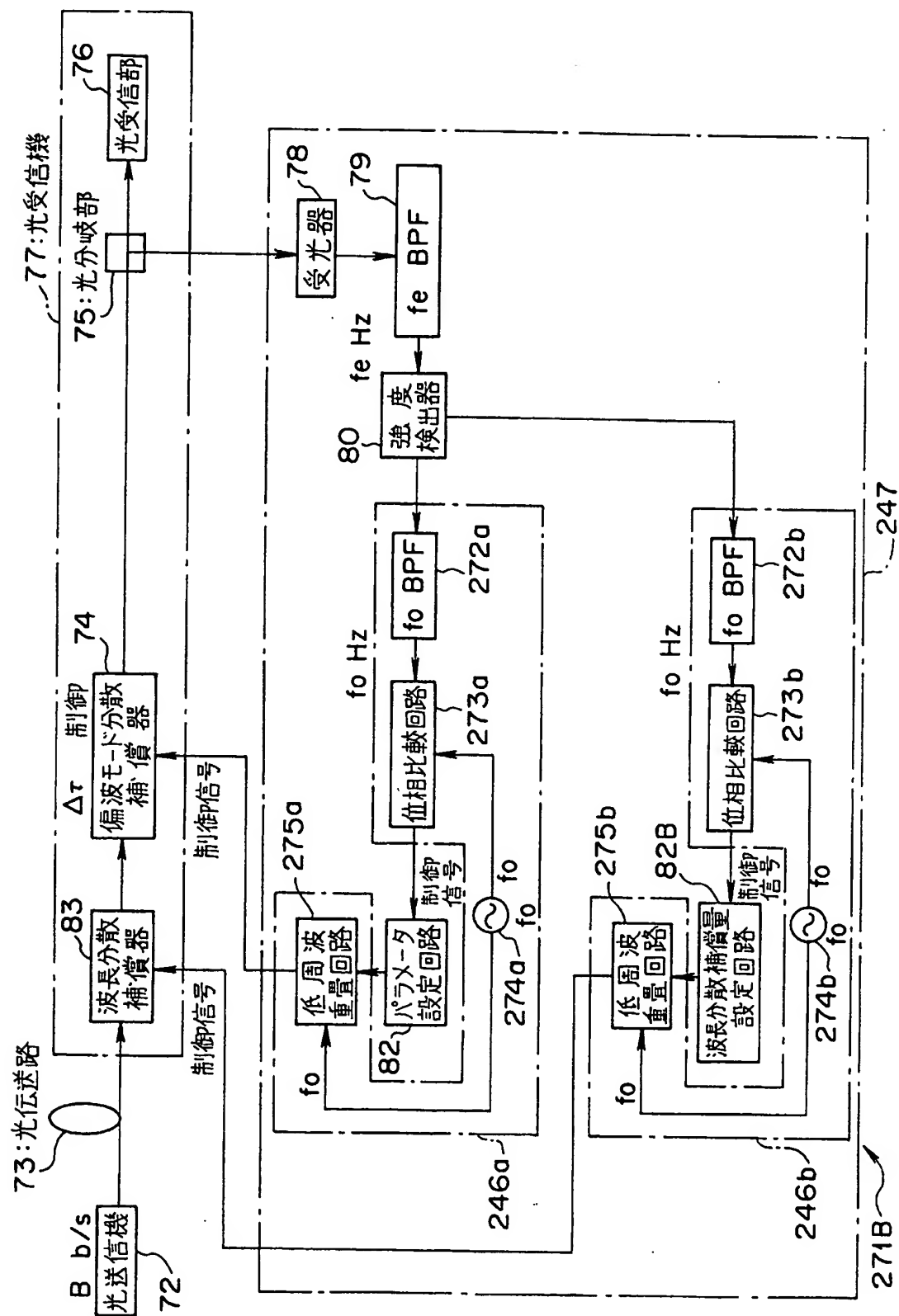


図 65

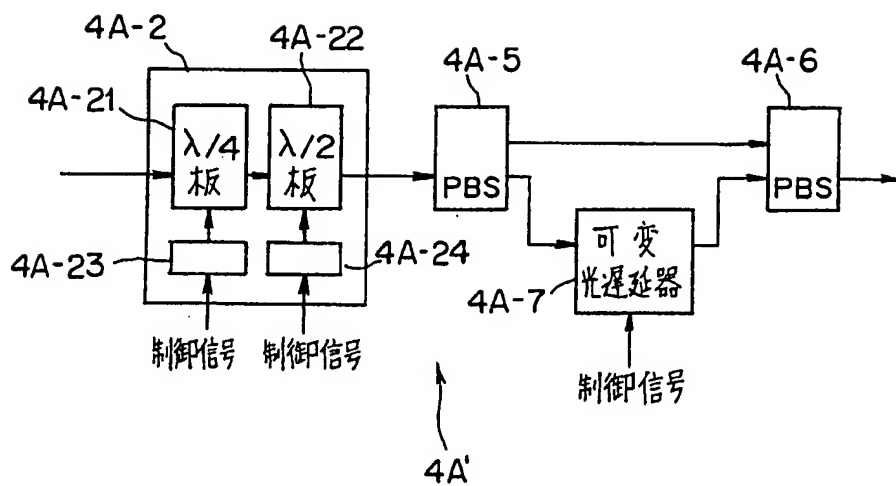


図 66

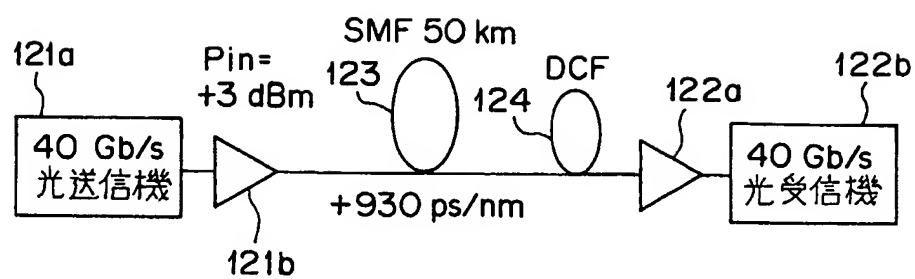


図 67

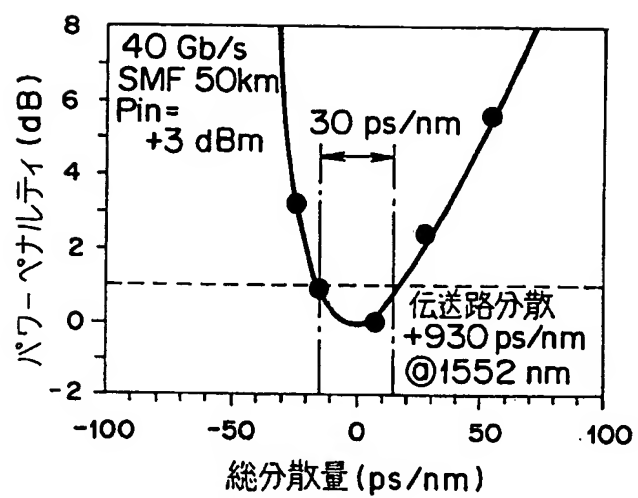




Fig. 68

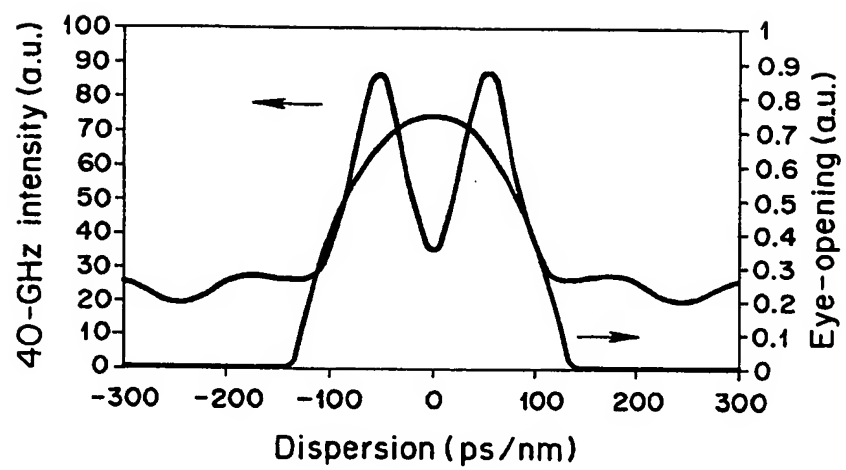
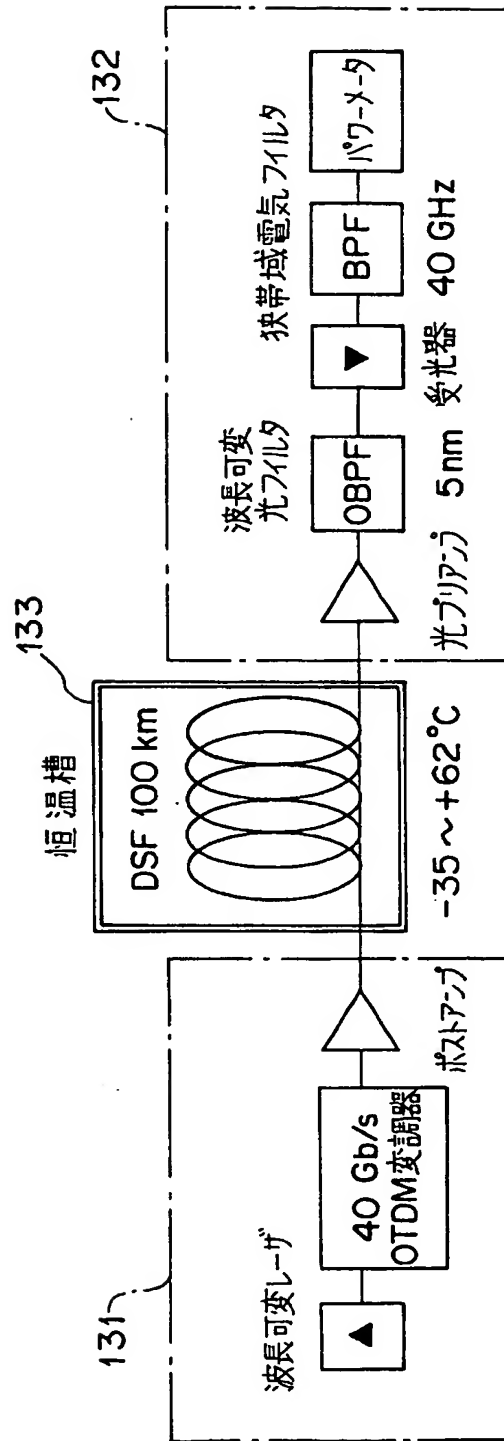


図 69



実験系

図 70

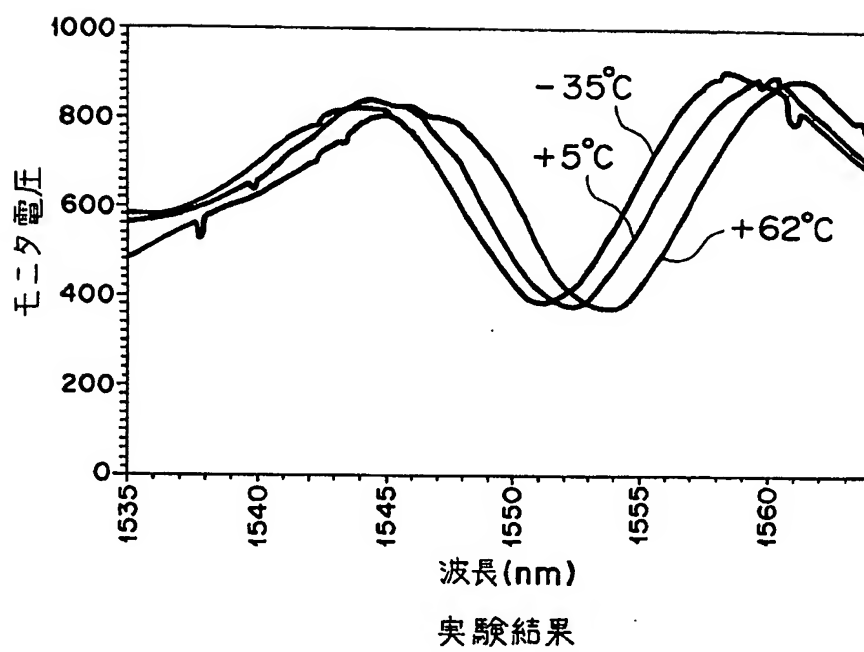


図 71(a)

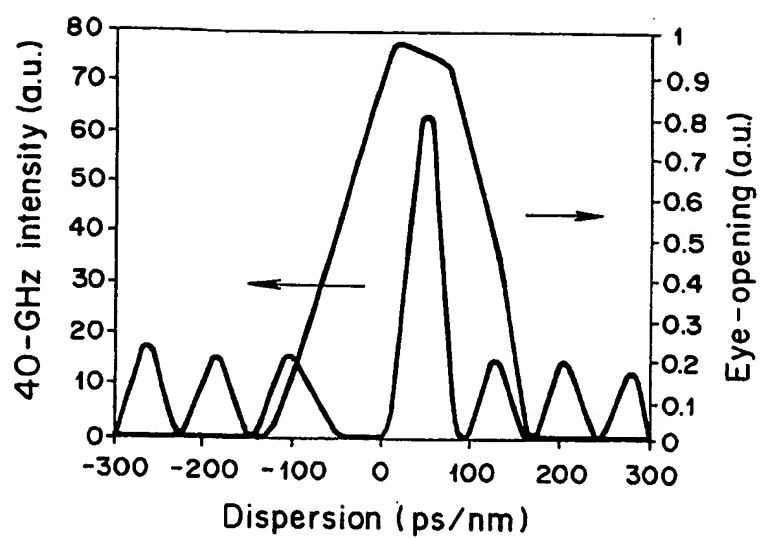


図 71(b)

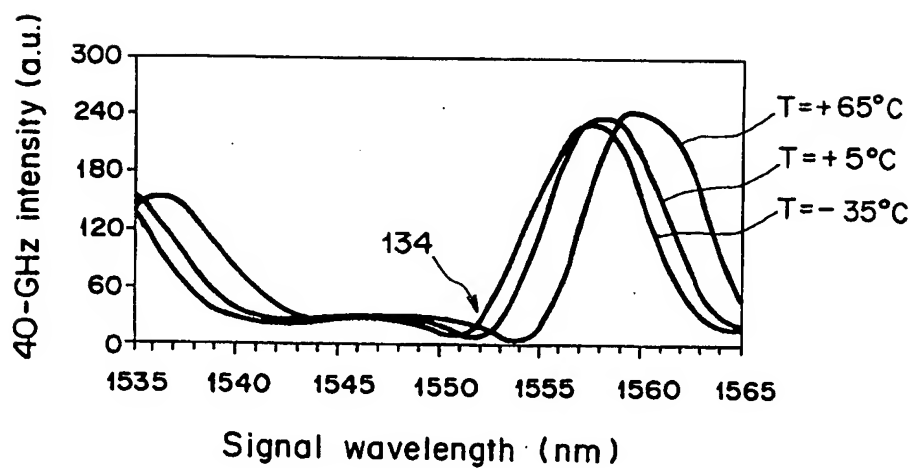


図 72 (a)

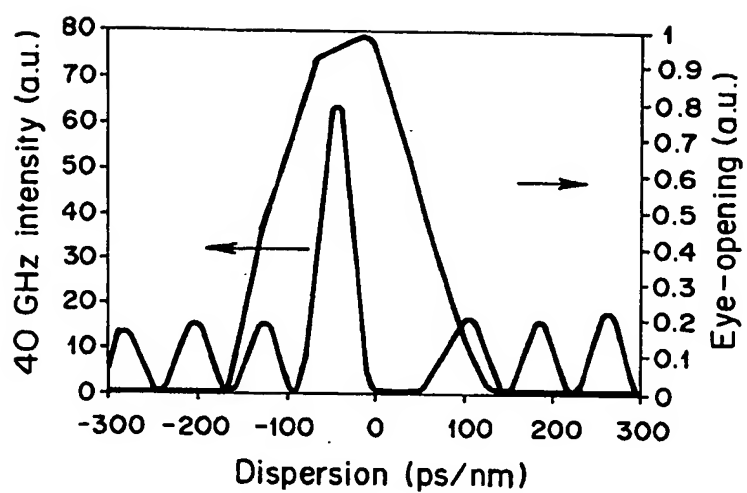


図 72 (b)

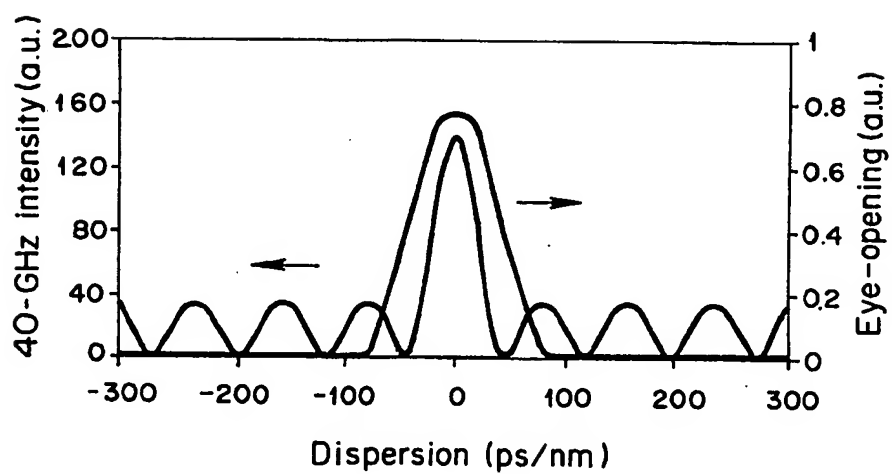


図 73

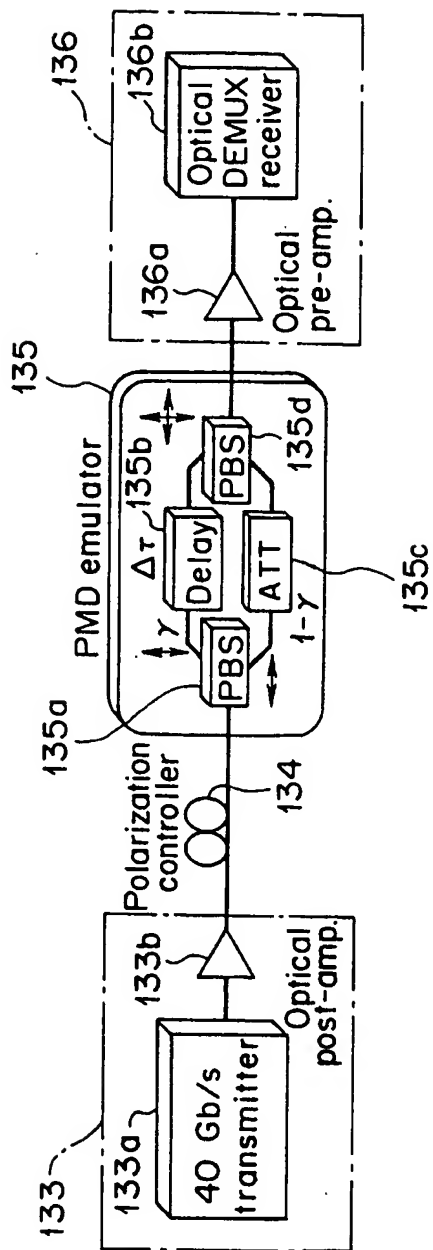


図 74

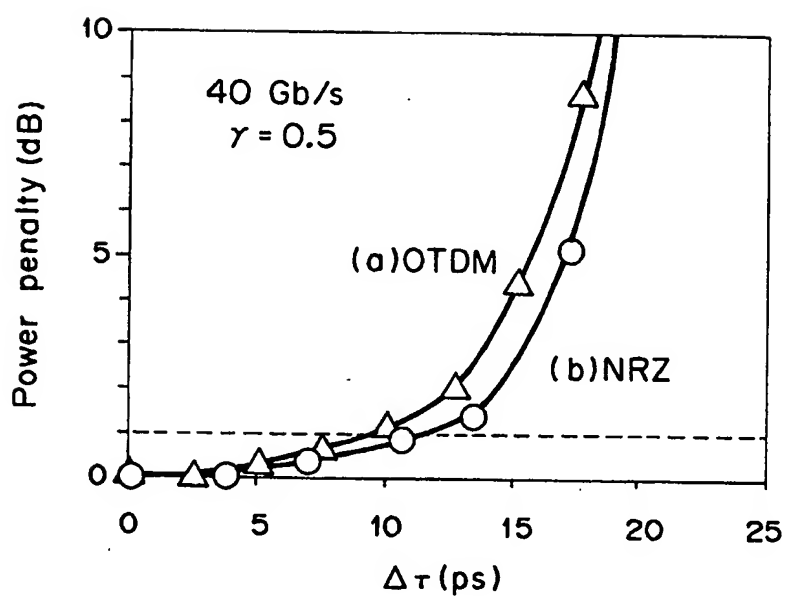
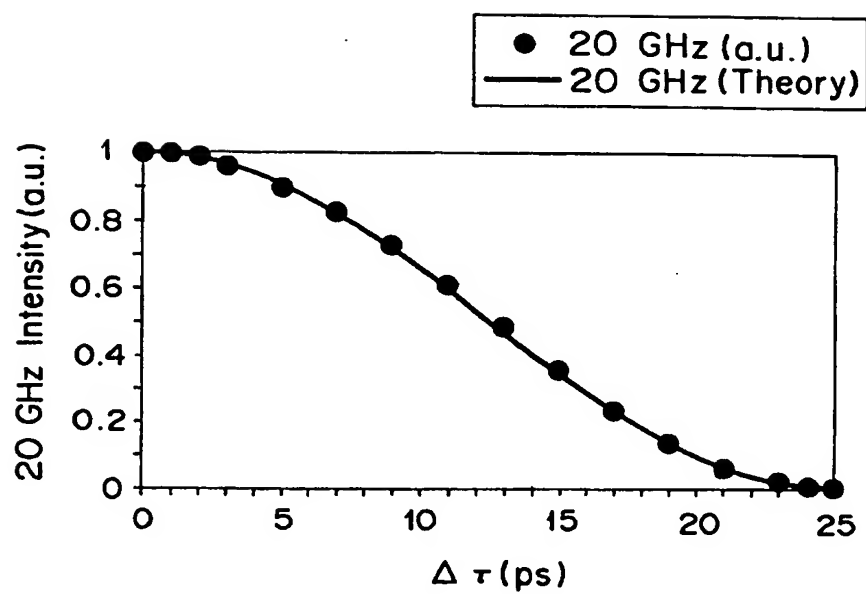


図 75





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05336

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl <sup>6</sup> G01M11/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>6</sup> G01M11/02		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 6-34446, A (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd.), 8 February, 1994 (08. 02. 94), Full text ; Fig. 1 (Family: none)	1-50
A	JP, 9-72827, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 18 March, 1997 (18. 03. 97), Full text ; Fig. 1 (Family: none)	1-50
A	JP, 9-264814, A (Advantest Corp.), 7 October, 1997 (07. 10. 97), Full text ; Fig. 1 (Family: none)	1-50
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 December, 1998 (18. 12. 98)		Date of mailing of the international search report 6 January, 1999 (06. 01. 99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/05336

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> G01M11/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> G01M11/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-1998年

日本国登録実用新案公報 1994-1998年

日本国実用新案登録公報 1996-1998年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 6-34446, A (国際電信電話株式会社) 8. 2月. 1994 (08. 02. 94), 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1-50
A	J P, 9-72827, A (古河電気工業株式会社) 18. 3月. 1997 (18. 03. 97), 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1-50
A	J P, 9-264814, A (株式会社アドバンテスト) 7. 10月. 1997 (07. 10. 97), 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1-50

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 12. 98

国際調査報告の発送日

06.01.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

江成 克己



2G

7907

電話番号 03-3581-1101 内線 3226